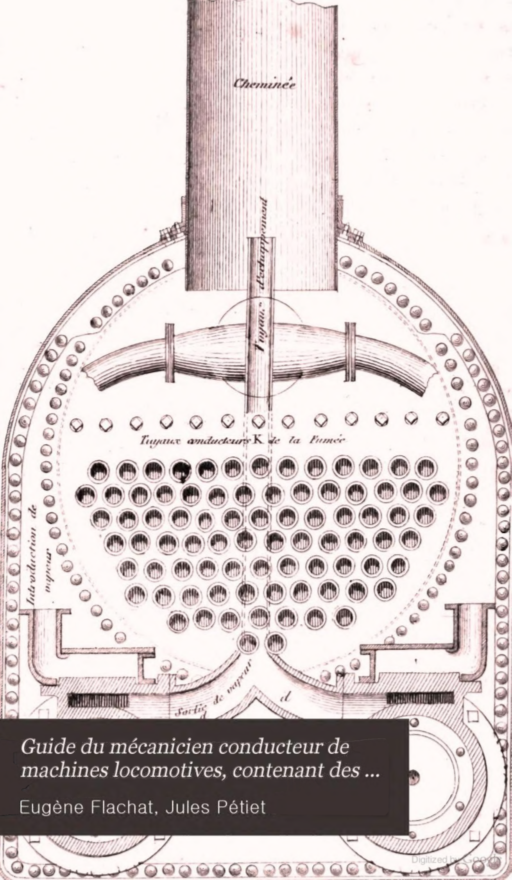
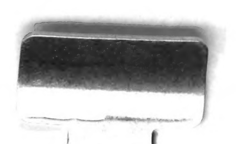
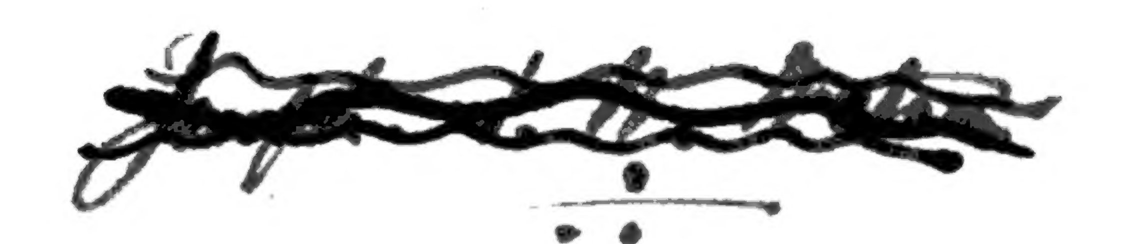


Guide du mécanicien conducteur de machines locomotives, contenant des ...

Eugène Flachat, Jules Pétiet



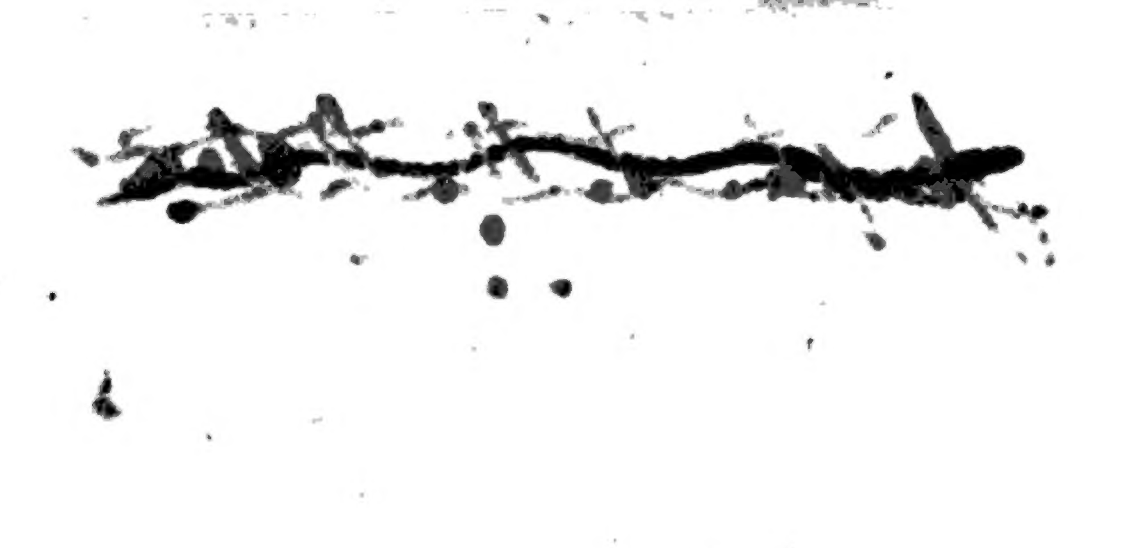
S. A. Common



GUIDE DU MÉCANICIEN-CONDUCTEUR

DE

MACHINES LOCOMOTIVES.



Paris. — Imprimerie et Fonderie de Jules Didot l'aîné,
boulevart d'Enfer, n° 4.

GUIDE DU MÉCANICIEN-CONDUCTEUR

DE

MACHINES LOCOMOTIVES,

CONTENANT DES NOTIONS THÉORIQUES ET PRATIQUES

SUR LA

CONSTRUCTION, L'ENTRETIEN ET LA CONDUITE

des Machines Locomotives;

SUIVI DE NOTES

Sur la génération de la vapeur et son emploi dans les machines; sur les dimensions et la puissance des machines en activité sur les chemins de fer de Saint-Germain, de Versailles (rive droite) et sur quelques chemins de fer anglais; sur l'application de la détente aux machines locomotives; sur les pompes alimentaires et les soupapes de sûreté, etc.;

TERMINÉ PAR

DES CALCULS ET TABLEAUX

Sur la distribution de la vapeur, l'avance du tiroir, la résistance produite par le tuyau d'échappement sur le tirage et le passage de l'air nécessaire à la combustion à travers la grille, les tubes de flamme et la cheminée.

PAR

E. FLACHAT ET J. PETIET,

INGÉNIEURS CIVILS.

PARIS.

MATHIAS, LIBRAIRE,

QUAI MALAQUAIS, 15.

1840

Common
Ealing

Le but de ce livre est d'apprendre aux conducteurs de machines locomotives la théorie et la pratique de leur profession.

La théorie qui leur est nécessaire se borne aux notions sur l'emploi du combustible à la génération de la vapeur dans les conditions propres aux foyers et aux chaudières des machines locomotives; sur l'emploi de la vapeur à haute pression, et sur les règles mécaniques de sa distribution dans les cylindres; sur le travail auquel sont soumises les pièces qui servent à la transmission des forces et du mouvement; sur les rapports qui existent entre les machines et le chemin de fer sur lequel elles fonctionnent.

La pratique d'une théorie aussi peu étendue est facile à acquérir; elle n'exige que de l'intelligence et de l'attention; moins d'habitude et d'expérience, à défaut d'instruction, que les connaissances de métier telles que celles d'ajusteur-mécanicien et de forgeron.

Bien qu'il soit plus facile aux ouvriers qui connaissent l'ajustement et le montage des machines d'entretenir les machines locomotives dans leurs assemblages, et par conséquent de tenir leur mécanisme en bon état d'entretien, toujours est-il que cette plus grande facilité qu'ils peuvent avoir à apprendre, à entretenir et

à conduire les machines, ne doit les engager à abandonner leur profession pour prendre celle de conducteurs de machines locomotives, qu'autant qu'ils manqueraient dans leur état des connaissances suffisantes pour arriver à gagner un salaire élevé.

En France, la généralité des ouvriers manque d'éducation professionnelle; c'est bien rarement que l'on en voit quelques-uns obtenir, au moyen d'efforts inouïs et dans un âge trop mûr, les connaissances que leur enfance aurait reçues avec facilité. Ceux-là sortent de la classe commune, et bientôt le prix élevé de leur salaire devient la juste rémunération des peines qu'ils se sont données pour s'élever à quelques notions théoriques.

Les autres atteignent, suivant leur adresse, leur assiduité et leur conduite régulière, un salaire au-delà duquel ils ne peuvent plus prétendre à aucune amélioration dans leur position.

Nous conseillerions à ces derniers d'embrasser la profession de conducteurs de machines locomotives, s'ils étaient susceptibles de se plier aux habitudes régulières et assidues que cette profession exige; s'ils étaient capables de comprendre la persévérance docile et patiente, le dévouement au devoir qui doit animer les conducteurs de machines locomotives.

Mais, il faut bien le dire, le manque d'instruction a eu la plus triste, la plus fâcheuse influence sur le moral des ouvriers qui travaillent le fer dans les ateliers de construction.

L'habitude de changer souvent d'atelier, de consacrer un jour par semaine à dépenser le fruit du travail

des autres jours, de n'avoir ni propriété, ni épargne, ni gîte, ni famille, ni association d'instruction, ni moyen d'employer utilement les heures de repos, a produit ce résultat, que l'ouvrier se place en dehors de tout patronage, qu'il ne sait plus alors que vendre son travail au jour le jour, sans dévouement pour celui auquel il le vend; que dans ce marché, qu'abaisse l'absence de tout sentiment moral, la ruse intervient toujours; et qu'enfin l'ouvrier, isolé, sans appui, sans but, sans espoir de sortir de la condition où il est, se plie à un genre de vie presque animal, où il trouve enfin, quand les forces viennent à lui manquer, la misère et l'abrutissement.

Nous ne pouvons donc conseiller qu'à ceux qu'un véritable courage porterait à renoncer à leurs dispendieuses habitudes, d'embrasser la profession de conducteurs de machines locomotives, et nous n'avons pas l'espoir que le nombre en soit considérable.

Nous faisons plus de compte sur les professions ayant des habitudes différentes, sur les hommes, fussent-ils simples manœuvres, ayant un domicile, une famille, comprenant la nécessité d'épargner pour faire vivre et instruire leurs enfans. Pour ceux-là seuls, la profession de conducteurs de machines locomotives, quelque méthodique qu'elle soit, quelque asservissement qu'elle exige, aura un grand prix, parceque son salaire est plus élevé, relativement, que celui de professions qui demandent beaucoup plus d'apprentissage.

Un ouvrier intelligent, actif, observateur et studieux, courageux et ayant la volonté d'apprendre, peut

en trois mois devenir un bon conducteur de machines locomotives.

C'est donc une profession ouverte à-la-fois aux ouvriers ajusteurs ayant des habitudes sages, mais auxquels le manque d'instruction impose une barrière qu'ils ne peuvent franchir pour devenir mécaniciens, et aux ouvriers de tout autre état ayant les qualités que nous venons d'indiquer.

La profession de conducteur de machine exclut les intelligences bornées et paresseuses, l'homme mou, sans nerf et valétudinaire. Un conducteur médiocre est toujours tellement nuisible, qu'il faut rigoureusement qu'il soit remplacé. En effet, une machine locomotive coûte au moins en entretien et en réparation 0 f. 60 à 1 f. par kilomètre qu'elle parcourt; son travail par jour est au moins de 125 kilom. C'est donc 75 à 125 f. qu'elle peut coûter pour ce seul chapitre. Un mécanicien inattentif ou inintelligent peut porter cette dépense du simple au double. Une machine dépense ordinairement 29 litres de coke par kilomètre, à 3 c. chaque ou f. 0,87, ce qui pour 125 kilom. fait une dépense journalière de 108 f.; ajoutant à cela la dépense de conduite, graisse, huile et chiffons, outils, eau, etc., on voit que la dépense de travail d'une machine se monte par jour au chiffre considérable de 200 à 250 francs, et que ce chiffre est sous l'influence immédiate du plus ou moins de mérite du conducteur dont l'habileté peut la tenir dans de justes limites, et dont l'ignorance ou l'inattention peuvent la porter bien au-dessus de ce que nous avons indiqué.

Il est donc de la plus haute importance d'user de ri-

gueur avec tout conducteur de machines qui remplit mal ou médiocrement sa profession.

A côté du soin, de l'attention, de l'aptitude nécessaires au conducteur de machines locomotives, viennent, au même degré d'importance, un esprit de docilité absolue aux exigences du service, un dévouement sans limite dans les cas extraordinaires, une disposition constante à payer de sa personne, en un mot ce sentiment sévère de discipline qui ne doit pas nuire davantage à l'indépendance morale et à la bonne volonté de l'ouvrier qu'il ne nuit au courage du soldat.

Nous ne demandons là rien d'extraordinaire; combien avons-nous vu de fois, en province, dans de grands établissemens industriels, lorsqu'un accident grave vient suspendre les travaux, les ouvriers, attachés par affection de famille à l'usine où ils travaillent de père en fils, comme au champ qu'ils possèdent à côté d'elle, s'empresser à l'envi de porter secours, et ne connaître ni jour ni nuit qu'ils n'aient terminé leur tâche et remis les travaux en activité.

La profession de conducteur de machines locomotives n'est pas pénible, sauf quelques cas infiniment rares. Elle n'offre d'autre danger que ceux qui peuvent être dus à la négligence ou à l'ignorance. Il est certaines professions, celle de lamineur de fer, par exemple, qui sont bien autrement dangereuses que celle-ci. Il ne faut donc pas que le conducteur de machines se laisse aller à cet esprit de charlatanisme qui lui fait regarder sa profession comme exigeant un courage extraordinaire qui le place au-dessus des autres; ce serait une grave erreur. Entre toutes les machines, celles où l'em-

ploi du fer est le plus général sont les machines locomotives. Le fer a sur la fonte l'avantage de plier sans rompre, ou d'annoncer sa rupture de telle sorte qu'il est plus rare de voir des accidens par suite de rupture de pièces dans les machines locomotives que dans les machines fixes.

Les conducteurs de machines locomotives doivent toujours être sous l'impression que leurs fautes ne peuvent jamais être punies trop rigoureusement. Un conducteur qui s'enivrerait pendant son service ne devrait pas seulement être exclu pour toujours de la conduite des machines; il devrait encore être mis en prison et frappé d'une forte amende par les tribunaux.

Ces observations sont faites pour inspirer aux ouvriers qui veulent se livrer à la profession de conducteurs de machines locomotives le sentiment de tout ce qu'ont d'impérieux les obligations qu'ils s'imposent; mais nous devons ajouter que leur intérêt à les accomplir est aussi grave. Dans cette profession, comme dans les autres, l'ouvrier habile, laborieux et rangé, se fait de tous ceux pour lesquels il travaille de véritables amis. Les personnes qui ont jugé sa conduite, les ingénieurs qui l'ont suivi et ont reconnu son habileté et son dévouement, l'entourent d'un patronage qu'il trouve en toute occasion, et il parvient toujours, avec cette aide, à améliorer de plus en plus sa position.

Nous avons divisé cette instruction en quatre parties.

La première contient des notions générales sur les machines locomotives. Nous engageons les conducteurs à revenir plusieurs fois sur l'étude de ces notions,

quand ils auront acquis les connaissances qui font l'objet des autres parties.

Dans cet exposé succinct de la composition et du travail des machines locomotives, nous n'avons pas cru devoir remonter aux principes élémentaires sur la génération de la vapeur d'eau, sur les forces qu'elle développe, sur les températures auxquelles elle se forme et les pressions correspondantes, sur les conditions de son travail dans les machines; nous avons rassemblé ces notions élémentaires dans la 1re note placée à la suite de la quatrième partie.

La seconde partie contient le détail descriptif des machines et du travail des pièces qui les composent.

Dans la troisième partie, nous avons réuni les notions de conduite et d'entretien des machines; et dans la quatrième, nous avons traité des différens accidens qui peuvent arriver aux machines.

La quatrième partie est suivie de notes: La 1re a pour but de rappeler les principes sur la génération de la vapeur, son poids, ses vitesses d'écoulement, son travail théorique et son emploi dans les machines.

La note 2e a pour but de faire connaître les dimensions principales et de donner des résultats pratiques sur la puissance des machines locomotives en activité sur les chemins de fer de Saint-Germain, de Versailles, (rive droite) et sur quelques chemins de fer anglais. La note 3e donne des indications sur l'application de la détente aux machines locomotives. La note 4e traite des pompes alimentaires des machines. La note 5e traite des soupapes de sureté.

La note 6e est divisée en quatre sections: La 1re

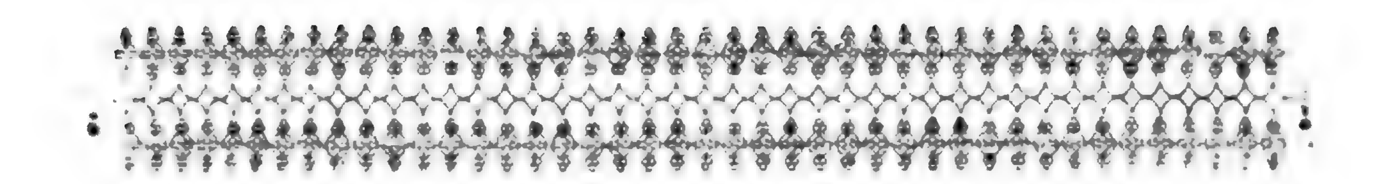
traite du mouvement de la vapeur dans les conduits, robinets et lumières des cylindres. La 2e du mouvement de la vapeur dans les tiroirs et de l'avance du tiroir. La 3e du tuyau d'échappement et de la pression moyenne que la vapeur y maintient contre le piston. La 4e du passage de l'air, de la fumée, et des gaz produits de la combustion dans la grille, les tubes et la cheminée.

La note 7e est un extrait du rapport de la commission chargée par le Parlement anglais d'examiner les questions qui se rattachaient à l'établissement des chemins de fer en Irlande.

La note 8e contient quelques observations sur les nouvelles machines locomotives destinées au chemin de fer de Versailles (rive droite), et quelques notions d'entretien et de conduite oubliées dans les quatre premières parties.

L'ouvrage se termine par un vocabulaire anglais français des termes techniques employés pour désigner les différentes pièces qui composent les machines locomotives.

Avant de terminer ces observations, il est de notre devoir de rappeler la part qu'ont eu dans les études dont nous présentons le résultat, la complaisance infinie et les encouragemens de MM. Émile et Isaac Pereire, ainsi que l'aide et les conseils de MM. Clapeyron et Stephane Mony, ingénieurs.



GUIDE

DU

MÉCANICIEN-CONDUCTEUR

DES MACHINES LOCOMOTIVES

PREMIÈRE PARTIE.

NOTIONS GÉNÉRALES.

1. Description succincte d'une Machine locomotive. — Une machine locomotive est une machine à vapeur à deux cylindres, à haute pression, sans condensation ni détente. Le mouvement des pistons résultant de l'introduction de la vapeur dans les cylindres et de son échappement alternatif est transmis au moyen de bielles à un arbre à deux manivelles. Chaque révolution des pistons fait décrire à cet arbre un tour sur lui-même. Sur cet arbre sont attachées deux roues d'un grand diamètre qui reçoivent ainsi un mouvement de rotation auquel la machine obéit en se déplaçant.

Les chaudières d'une machine locomotive ont une forme particulière ; leur foyer est enfermé dans une caisse à double paroi formant une enveloppe d'eau autour du combustible. L'air s'introduit dans le foyer à travers la grille. La flamme, les gaz produits de la combustion et la fumée passent pour se rendre dans la cheminée par un grand nombre de tubes qui communiquent du

foyer à la boîte à fumée, en traversant ainsi une masse d'eau enfermée dans la partie cylindrique de la chaudière. Ces tubes étant d'un très petit diamètre, la flamme et les gaz du foyer n'y entreraient pas avec rapidité, soit à cause des frottemens soit à cause du refroidissement qu'ils y éprouveraient, s'ils n'étaient pas sollicités par un tirage très énergique.

2. Du Tirage. — Le tirage, qui a pour but de produire dans le foyer le renouvellement de l'air qui apporte l'oxigène nécessaire à la combustion du coke, est créé en faisant échapper la vapeur inutile à une pression assez élevée lorsqu'elle a produit dans les cylindres le travail nécessaire pour imprimer aux pistons le mouvement de va-et-vient qui se transforme pour les roues en un mouvement de rotation; cette vapeur est envoyée au sortir du cylindre dans la cheminée par un conduit qui est resserré à sa partie supérieure, afin d'augmenter la durée de l'échappement de la vapeur. Ces échappemens sont successifs; leur fréquence dépend du plus ou moins de vitesse de la machine, leur énergie du plus ou moins de pression de la vapeur. La vitesse de la vapeur à l'échappement est celle due à la pression initiale de la vapeur, quelle que soit la dimension de l'orifice d'échappement; mais cette pression se réduit immédiatement si cet orifice est considérable; elle se réduit moins rapidement lorsque l'orifice d'échappement est plus petit; la réduction de l'orifice augmente donc la continuité de l'échappement de vapeur, mais non sa vitesse initiale. Il résulte de cette augmentation de durée que lorsque la machine marche à une grande vitesse, les échappemens étant très fréquens, la pression de la vapeur inutile subsiste à un certain degré presque constamment en sens inverse de la marche des pistons, et oppose une résistance à la marche de la machine.

La grande vitesse d'échappement de la vapeur dans la cheminée tend à faire prendre à l'air qui s'y trouve une vitesse analogue. Cet air ne peut être remplacé que par un courant qui doit traverser la grille, le foyer et les tubes.

Le tirage est donc ainsi excité par aspiration au lieu de l'être par insufflation.

Nous ferons remarquer que le rétrécissement du conduit d'échappement à son extrémité, ayant pour effet d'opposer un obstacle à la sortie de la vapeur afin d'accroître la durée de son dégagement, il en résulte une continuation de pression de la vapeur inutile qui, d'après les règles ordinaires, n'en devrait plus opposer aucune. Cette pression est donc un obstacle à la marche des pistons, et par conséquent le tirage a en définitive pour résultat d'absorber une partie notable de la puissance de la machine. Son influence ne se fait pas cependant sentir à une marche lente, parceque le temps du travail de la vapeur est très considérable par rapport à la faible durée du temps que dure l'échappement; mais à une grande vitesse la succession des échappemens de vapeur est tellement rapide que les effets de la pression dans les tuyaux d'échappement sont presque continus. Cette pression forme alors une résistance à la marche du piston presque égale à la puissance même qui lui donne l'impulsion; nous avons fréquemment observé que le maximum de vitesse que puissent atteindre les machines locomotives est de 1000 à 1250 mètres par minute. Alors l'affaiblissement de pression résultant de la vitesse de la vapeur à son entrée dans les cylindres, et la résistance qu'elle éprouve à sa sortie par le conduit d'échappement, rapprochent de l'équilibre la puissance de la machine et la résistance que le travail et l'obstacle à l'échappement de la vapeur lui font éprouver[1].

A voir combien la différence entre la puissance et la résistance est grande à l'origine du mouvement d'un train remorqué par une locomotive, on devrait s'attendre à ce que cette force accélératrice imprimât à la masse une vitesse bien supérieure à celle qu'elle atteint réellement; car on sait que la principale résistance à vaincre, savoir le coëfficient de frottement du train sur les rails, n'augmente pas avec la vitesse. Il faut donc que la résis-

[1] A une vitesse de 60,000 m. ou 15 lieues à l'heure, et avec des roues de 1 m. 60 de diamètre, le nombre des échappemens de vapeur est environ de 13,2 par seconde; celui des révolutions des roues de 12000 par heure ou 3,3 par seconde.

tance de l'air, d'une part, et celle de la vapeur qui s'échappe, d'autre part, prennent un accroissement très rapide avec la vitesse, puisque l'accélération est si tôt vaincue par l'effet de ces deux forces joint à l'accroissement de la résistance propre de la machine.

Ces raisons expliquent suffisamment pourquoi les premiers coups de piston sont très énergiques : c'est qu'alors il n'y a pas de vitesse, et que par suite la vapeur agit dans les cylindres avec toute la tension qu'elle a dans la chaudière.

Le tirage est néanmoins la condition d'une production de vapeur suffisante à la marche rapide de la machine ; il amène dans le foyer l'air qui y est aussi nécessaire que le coke, dont la combustion développe le calorique, et que l'eau qui y est convertie en vapeur.

Une machine locomotive se compose de plusieurs parties distinctes qu'il importe aux mécaniciens de bien connaître.

3. De la Chaudière. — La chaudière est la partie la plus délicate de la machine : elle se compose de la boîte à feu dont le fond porte la grille du foyer, et dont les quatre côtés sont doublés, de sorte que sur ces quatre côtés le foyer est entouré d'une épaisseur d'eau de 6 à 10 centimètres. Il est important, pour les constructeurs, de ne pas réduire l'épaisseur de cette lame d'eau qui enveloppe le foyer ; autrement, il en résulterait que la vitesse de la vapeur, causée par une production très énergique en raison de la grande chaleur à laquelle sont exposées les parois du foyer, empêcherait l'eau de remplacer instantanément la vapeur dans cette partie de la chaudière ; les parois n'étant pas alors suffisamment refroidies par l'eau, prendraient un haut degré de température que favoriserait encore la formation des incrustations ; l'espace s'engorgerait alors, et les parois devenant rouges se déformeraient ou se brûleraient rapidement ; cet inconvénient grave s'est déclaré dans les chaudières où l'espace dont il s'agit n'était pas de plus de 5 à 6 centimètres. Le dessus de la boîte à feu est renforcé par des pièces de fer, afin que la pression de la vapeur ne le déforme pas ; toutes les surfaces planes des parties de l'avant de la

chaudière étant dans des conditions défavorables de résistance à la pression intérieure de la vapeur, sont aussi fortement retenues entre elles par des armatures, afin qu'elles ne se déforment pas; il n'en est pas de même de la partie cylindrique qui résiste à la pression sans tendance à se déformer. Cette partie cylindrique de la chaudière est traversée par 100 à 150 tubes en laiton, à travers lesquels passent, comme nous l'avons dit, la flamme, les gaz produits par la combustion et l'air qui n'a pas été brûlé dans le foyer. Les tubes sont assemblés sur deux plaques, dont l'une forme un des côtés de la boîte à feu, et l'autre forme l'extrémité de la chaudière.

D'après la complication de cet appareil, on conçoit combien le jeu des forces irrésistibles de la dilatation et du retrait, produit par l'élévation et l'abaissement de la température, doit tendre à le déformer, à y introduire des efforts d'autant plus inégaux que toutes les surfaces exposées à la pression de la vapeur n'ont pas toutes les formes les plus favorables pour résister à cette pression; aussi les parties planes faiblissent-elles les premières.

Ce qui tend à accroître ces déformations de la chaudière, c'est que les deux parties extrêmes étant retenues soit par le cadre, soit par les membrures ou traverses qui sont attachées à la doublure de la boîte à feu d'un côté, et à la boîte des cylindres de l'autre, ces traverses qui sont éloignées du foyer et rafraîchies par l'air ne se prêtent point aux mouvemens que la dilatation fait subir au corps de la chaudière; aussi ces pièces sont-elles fortement sollicitées dans leurs points d'attache qui se relâchent et livrent passage à l'eau de la chaudière. Cet inconvénient grave pourrait être d'autant plus facilement évité par les constructeurs, qu'il est tout-à-fait inutile que les traverses soient assemblées d'une manière aussi fixe sur la boîte à feu, leur but n'étant pas de relier l'arrière à l'avant de la chaudière.

Il résulte de toutes ces forces qui luttent entre elles, que les machines locomotives prennent dans leurs assemblages fixes un jeu d'élasticité qu'il est bien difficile d'apercevoir, mais qui loin

de nuire à leur marche, les rend, au bout d'un certain temps d'usage, plus faciles dans leurs allures.

Lorsque les machines sont établies avec des conditions trop inégales dans leurs différentes parties, la plus faible cède à l'autre et souffre seule; aussi le talent du constructeur est-il d'arriver aux formes qui réunissent à une solidité suffisante une légèreté propre à favoriser l'élasticité de tout le système.

La boîte à feu supporte, comme nous l'avons dit, la grille dont les barreaux sont mobiles, afin de pouvoir jeter hors le feu quand il devient nécessaire de l'éteindre.

La surface des grilles varie de 60 à 100 décimètres. Les foyers de cette dernière dimension sont une application nouvelle; ils rendront la conduite de la machine plus facile et assureront davantage la régularité de marche des convois, même en remorquant des trains plus lourds, ou des trains égaux sur de plus fortes pentes. Ils produiront aussi une économie de combustible lorsque les conducteurs pourront, au moyen du registre inventé par Stephenson, régler le tirage suivant les quantités de vapeur qu'ils voudront obtenir. L'économie qu'il y a lieu d'attendre des grands foyers provient de ce que la chaleur est proportionnellement beaucoup plus régulière dans les grands foyers que dans les petits; mais elle sera en partie absorbée par la perte du coke à travers les barreaux du foyer. Les grands foyers contiennent presque moitié de combustible en sus des petits. Il est possible que l'élévation de température produite par l'incandescence d'une si grande quantité de coke exerce sur les surfaces planes de la boîte à feu dont les dimensions sont si considérables une assez fâcheuse influence. L'expérience seule indiquera s'il vaut mieux, ainsi que nous sommes portés à le croire, augmenter la profondeur des boîtes à feu, que la superficie des grilles. Il est probable que la profondeur des grilles, combinée avec l'emploi d'un combustible aussi peu collant que le coke, serait plus avantageuse que l'augmentation de leur superficie; en traversant une grande épaisseur de coke, une plus forte quantité d'air arriverait à la température nécessaire à la combustion, au lieu de passer à tra-

vers le foyer sans brûler, comme cela a lieu quand le coke est en trop forts fragmens, ou en couche trop mince.

D'après la description que nous venons de donner de la chaudière des machines locomotives, on remarquera que cet appareil doit être à-la-fois d'une puissance et d'une sensibilité excessives. Ainsi lorsqu'un tirage très énergique aura été causé par la succession rapide des échappemens de vapeur à une haute pression, l'incandescence du foyer portant à une haute température toutes les surfaces de la boîte à feu et des tubes, la génération de la vapeur a lieu avec une puissance extraordinaire; mais si en ouvrant la porte du foyer on y lance une grande quantité d'air froid, si en tenant les pompes trop long-temps ouvertes on introduit dans la chaudière une grande quantité d'eau froide, alors la génération s'affaiblit à l'instant, la pression diminue et finit par devenir insuffisante à la marche rapide de la machine.

Dans les machines locomotives comme dans les machines fixes, l'eau doit baigner toutes les parties en contact avec le combustible, la flamme ou l'air chaud; en négligeant cette précaution, on s'expose à plusieurs inconvéniens; les plus ordinaires sont de brûler les parties ainsi découvertes.

C'est aussi de les exposer à être déformées parceque ces surfaces portées au rouge par le contact de la flamme perdent de leur résistance et cèdent sous l'effort de la pression de la vapeur.

Le plus grave de tous serait, lorsque des surfaces ainsi découvertes d'eau sont portées au rouge, d'introduire subitement assez d'eau dans la chaudière pour les couvrir. La production instantanée de vapeur serait peut-être alors trop considérable pour être débitée entièrement par les soupapes et les tiroirs, et il s'en suivrait une explosion.

Il n'y a pas encore eu d'exemple de cet accident dans les machines locomotives, parceque dans ce cas les mécaniciens ont soin avant de remplir la chaudière de jeter leur feu ou d'en diminuer assez notablement l'intensité afin de laisser refroidir les parties découvertes d'eau.

Si au départ du train le niveau de l'eau dans la chaudière était au-dessous du ciel de la boîte à feu, et que cette partie non refroidie par l'eau fût portée au rouge, il pourrait en résulter que par suite du phénomène que nous décrirons plus loin de l'élévation artificielle du niveau de l'eau quand la production de vapeur s'accroît, les parties rouges fussent instantanément couvertes d'eau et donnassent lieu à une production de vapeur plus forte que celle que pourraient débiter les soupapes; mais ce genre d'accident est à-peu-près impossible; l'eau est, au contraire, au départ, toujours en excès dans les chaudières.

Une autre condition de conservation des chaudières, c'est que les soupapes puissent débiter toute la vapeur qui peut être produite, et qu'elles soient réglées à une pression beaucoup inférieure à celle que la chaudière peut supporter.

Les chaudières des machines locomotives pourraient supporter une pression de quinze atmosphères à froid sans s'altérer; c'est leur épreuve habituelle et légale; à chaud la pression monte rarement à sept atmosphères; elle doit être ordinairement à cinq, y compris la pression atmosphérique, pendant la marche, et à quatre en station.

Enfin une condition bien essentielle encore de conservation des chaudières, c'est d'empêcher les incrustations produites par les parties calcaires qui se dégagent de l'eau quand elle est convertie en vapeur, et qui n'étant pas complétement emportées avec la vapeur, laissent un résidu terreux qui prend une consistance de plus en plus grande à mesure que son épaisseur s'accroît.

Ces incrustations se fixent principalement sur les parties qui produisent la plus grande quantité de vapeur. Lorsqu'elles se sont épaissies, comme elles conduisent mal la chaleur, il en résulte qu'il y a moins de vapeur produite, et que le métal sur lequel elles sont fixées est chauffé à un degré bien plus considérable parceque l'eau ne le refroidit pas par son contact immédiat. Cette élévation dans la température du métal accroît les mouvemens de la dilatation; elle réduit la résistance du métal à la pression, elle l'altère en le brûlant; il faut donc nettoyer

souvent la chaudière : cette opération est décrite plus loin.

Il y a plusieurs moyens d'éviter les incrustations : l'un est d'empêcher leur durcissement en mettant de l'argile plastique dans les chaudières ; l'autre est de mettre dans l'eau des tenders une substance tinctoriale telle que des copeaux de bois de campêche enveloppés d'une toile ou placés dans un panier d'osier ; l'eau des tenders étant souvent chauffée se mélangera d'une quantité de parties tinctoriales suffisante pour empêcher l'adhérence des dépôts.

Les incrustations sont l'agent destructeur le plus puissant des machines locomotives ; il importe au plus haut degré d'y consacrer la plus grande surveillance et d'étudier les moyens de s'en débarrasser.

4. Phénomènes de la Génération de la vapeur. — Quelques-uns des phénomènes qui ont lieu lors de la génération de la vapeur dans les machines locomotives sont utiles à connaître. — Lorsque le foyer développe beaucoup de chaleur, que la pression de la vapeur à l'échappement des cylindres est assez forte pour créer un tirage énergique, alors la puissance de génération de vapeur atteint son maximum ; dans ce moment le niveau de l'eau paraît s'élever artificiellement dans la chaudière de six à huit centimètres. Cela tient à ce que le passage très rapide des molécules de vapeur à travers l'eau en augmente le volume.

Aussitôt qu'en fermant le régulateur on suspend l'émission de vapeur, l'eau reprend son niveau naturel. Il en est encore de même lorsque l'on injecte de l'eau froide dans la chaudière. Cette eau, à mesure qu'elle s'introduit dans la chaudière, condense les molécules de vapeur qu'elle rencontre dans la masse d'eau échauffée, et rend ainsi à la masse la densité qu'elle perdait. Il en résulte que le niveau de l'eau reste long-temps au même point pendant l'alimentation, et que l'introduction de l'eau ne se dénote alors que par l'affaiblissement de la pression. L'élévation artificielle de l'eau est d'ailleurs plus grande vers les prises de vapeur que dans les autres parties de la chaudière ;

aussi, arrive-t-il que dans les machines où le tube indicateur est placé près de la prise de vapeur on observe que ce phénomène a une grande intensité.

Un phénomène également important à connaître, c'est le plus ou moins de disposition des machines locomotives à entraîner avec la vapeur une certaine quantité d'eau. Plusieurs causes différentes sont la source de cet inconvénient ; les unes dépendent du mécanicien ; soit qu'il donne au régulateur une trop grande ouverture, qui diminue la pression, imprime à l'ébullition une intensité considérable, de sorte que les molécules d'eau soulevées sortent avec la vapeur. Soit qu'il remplisse trop sa chaudière et que l'eau arrivant jusqu'à la naissance du dôme de prise de vapeur soit élevée dans l'intérieur du dôme et entraînée dans le conduit de prise de vapeur par la vitesse même de la vapeur. Soit enfin, que des matières grasses aient été introduites et se soient étendues sur les parois intérieures de la chaudière ; lorsque ces matières sont mélangées avec l'eau, elles lui donnent une propriété analogue à celle du lait quand il est soumis à l'ébullition ; dans ce cas la quantité d'eau entraînée par la vapeur est extrêmement considérable.

Quant aux causes de perte d'eau qui dépendent des dispositions mêmes de la machine, elles tiennent : au faible diamètre du dôme ; à sa trop faible hauteur ; au trop petit espace réservé au-dessus de l'eau comme réservoir de vapeur, ce qui force la vapeur à prendre une trop grande vitesse, de sorte qu'elle n'a pas le temps de sécher ; à ce que le dôme est placé trop souvent au-dessus de la boîte à feu, c'est-à-dire au point où la plus forte vaporisation met les molécules d'eau en grande agitation.

Dans tous les cas que nous venons d'indiquer, le moyen de séparer la vapeur des molécules d'eau avant sa sortie de la chaudière est toujours de fermer le régulateur complétement, et de le rouvrir ensuite peu-à-peu jusqu'à une certaine limite que l'on ne trouve qu'en tâtonnant.

L'effet produit est alors de faire cesser le courant de vapeur ; puis de rendre la pression dans la chaudière plus forte qu'elle n'é-

tait, et relativement moindre dans le conduit de vapeur aux cylindres; la quantité de vapeur débitée par le régulateur cesse alors d'être égale à la production totale de la chaudière, l'intensité de l'ébullition s'arrête parceque la pression de la vapeur au-dessus de l'eau étant égale à celle de la vapeur engendrée sous l'eau, celle-ci ne peut être soulevée; dans ce cas la vapeur a le temps de se débarrasser de l'eau en suspension avant de se rendre aux cylindres.

En réduisant l'ouverture du régulateur, la vitesse de la vapeur dans son passage aux cylindres s'augmente en raison de la différence entre la pression dans la chaudière et la pression dans les conduits de vapeur aux cylindres. La puissance de la machine serait diminuée s'il était vrai que, lorsque le régulateur est plus ou moins ouvert, la machine travaille avec plus ou moins de puissance; mais cette indication est loin en pratique d'être absolue, et l'on se tromperait beaucoup si pour obtenir soit le maximum de vitesse de la machine, soit son maximum d'effort de traction sous une charge considérable, on ouvrait complétement le régulateur. L'expérience démontre que, dans ce cas, il y a une absorption de vapeur qui n'est point en rapport avec le maximum d'effet utile; et quand dès le départ le régulateur est complétement ouvert, en peu de temps la quantité d'eau diminue dans la chaudière, au point que l'alimentation devient très difficile sans refroidir la chaudière jusqu'à rendre la production de vapeur et la pression insuffisantes à la marche. La cause en est dans la quantité d'eau que la vapeur emporte avec elle par suite des dispositions de construction de la chaudière, et dans la presque impossibilité de la machine de fournir constamment une quantité de vapeur égale à celle qui est débitée par les cylindres à de grande vitesses. Au moment de la mise en marche, la génération de la vapeur produite par le passage de la flamme par les tubes a pour effet d'augmenter le volume de l'eau en diminuant mécaniquement sa densité, son niveau s'élève alors dans la chaudière. On conçoit que, dans ce cas, si toute la vapeur produite s'écoule sans que l'eau qu'elle tient en suspension et

qu'elle emporte soit arrêtée par une pression dans la chaudière supérieure à la pression dans les conduits de vapeur, cette eau, emportée par le courant de vapeur, continuera à s'élever avec elle, et sera entraînée dans le cylindre et au dehors; il faut donc diminuer l'ouverture du régulateur de telle sorte que la pression s'élève plus dans la chaudière que dans le passage de vapeur. Sous l'influence de cette pression, la vapeur se sèche davantage; il y a une sorte d'arrêt qui a pour effet sans doute que la différence de densité entre l'eau et la vapeur se faisant sentir davantage, la vapeur abandonne l'eau qu'elle ne tenait en suspension que par suite uniquement de la vitesse de son ascension. La preuve que le niveau de l'eau ne s'élève dans la chaudière que par l'action mécanique de l'ascension de la vapeur produite par les tubes, c'est que lorsque l'on ferme le régulateur, le niveau baisse immédiatement jusqu'à son point réel.

Cet abaissement de niveau, qui a lieu toutes les fois qu'on réduit ou qu'on ferme complétement l'orifice de sortie, repose sur la loi physique des formations de vapeur sous différentes pressions.

L'eau, ainsi que tous les autres liquides, n'est permanente dans son état d'agrégation qu'à de certaines températures et sous de certaines pressions; ainsi, la transformation des liquides en vapeur peut s'effectuer sous l'influence de deux circonstances différentes, la pression et la température. Si on abaisse la pression exercée sur le liquide sans faire varier sa température, on arrivera à un point où son évaporation aura lieu. Ainsi l'eau se vaporisera à la température de 66° si l'on parvient à réduire à 0,25 d'atmosphère la pression sur sa surface. D'un autre côté, si on élève la température sans faire varier la pression, on arrive encore à réduire les liquides en vapeur. Ainsi, sous l'influence de la pression ordinaire atmosphérique, l'eau ne change d'état physique qu'à 100°; si la pression est de 2 atmosphères au lieu de 1, l'évaporation n'a plus lieu qu'à 121°,55.

C'est sur cette corrélation qui existe entre la température et la pression, lors de la production de vapeur, que repose l'abaisse-

ment du niveau de l'eau dans les chaudières, lorsqu'en rétrécissant l'orifice de dégagement, ou par toute autre cause, on augmente la pression sur le liquide. Il arrive, en effet, qu'alors la température de l'eau ne pouvant varier instantanément pour s'élever au degré correspondant à la pression que l'on suppose subitement modifiée, l'évaporation cesse pendant un certain temps, et ne se renouvelle que lorsque la chaleur du foyer et des tubes a porté l'eau au degré nécessaire.

On peut se rendre compte facilement, d'ailleurs, de la cause d'élévation de niveau d'eau dans la chaudière par le fait seul de l'évaporation. En effet, le mélange des bulles de vapeur a nécessairement pour effet de déplacer l'eau et de faire ainsi occuper à sa masse un plus grand volume.

5. De l'économie de combustible. — Nous avons dit que dans les machines nouvelles les dimensions du foyer avaient été beaucoup augmentées. Il résulte de la quantité considérable de combustible que ces foyers peuvent contenir et de l'augmentation de la surface de chauffe, une force de vaporisation beaucoup plus grande qu'on n'avait pu le prévoir.

On avait, en effet, cru devoir proportionner l'augmentation du foyer à celle des cylindres; mais l'énergie du tirage résultant d'une forte quantité de vapeur projetée dans la cheminée est venue ajouter ses effets à ceux de la masse en combustion, et la production de vapeur a dépassé tout-à-fait les besoins ordinaires des machines.

Cette circonstance nous amène à entrer dans quelques considérations sur l'économie de combustible à introduire dans le travail des machines locomotives.

Les petites machines munies de cylindres de 30 à 31 centimètres et de foyers de 65 à 70 décimètres carrés n'engendrent qu'une quantité de vapeur égale à celle qui peut être débitée à une vitesse de 9 lieues à l'heure par les cylindres à une pression moyenne de 3 atmosphères; cette pression est suffisante, en général, pour remorquer les convois ordinaires, qui exigent même souvent

une pression moindre et par suite laissent prendre à la machine une plus grande vitesse.

Dans les nouvelles machines de grande dimension la surface de chauffe ayant été augmentée dans une plus grande proportion que celle des cylindres, elles peuvent satisfaire à la même vitesse de 9 lieues en maintenant la vapeur qui alimente les cylindres à une pression de 3 atmosphères et demie, pression qui leur est nécessaire pour traîner sur les rampes de $0^{m},005$ des convois ordinaires; mais lorsque ces machines fonctionnent sur le chemin de fer de Saint-Germain, elles produisent des quantités de vapeur beaucoup trop considérables : de là la nécessité de régler la combustion.

Aujourd'hui, les moyens que les conducteurs de machines ont à leur disposition pour réduire la consommation de combustible sont de peu charger la grille, ou bien d'ouvrir, pendant la marche, la porte du foyer. Ces deux moyens ont de graves inconvéniens. Quand la grille est peu chargée, la moindre quantité de combustible ajoutée refroidit beaucoup le foyer, et de plus la perte du coke est considérable parceque les secousses de la machine lui font subir sur la grille un mouvement analogue à celui qu'il éprouverait dans un crible; le coke, léger par lui-même, soulevé par le tirage, n'étant pas maintenu à cause du peu d'épaisseur de la charge, danse sur la grille. Ce mouvement ramène au fond du foyer les plus petits morceaux, qui passent alors à travers les barreaux et se répandent sur le chemin.

L'ouverture de la porte du foyer pour ralentir la combustion a des inconvéniens plus graves encore; en lançant une grande quantité d'air froid à travers les tubes, le refroidissement qui en résulte cause une contraction vive dans cette partie de la chaudière, les lois de dilatation des viroles étant différentes de celles de la boîte à feu et des tubes : ces lois agissant d'ailleurs dans des directions diverses pour la plaque de feu, les tubes et les viroles, il en résulte presque toujours une altération sensible dans les assemblages et des fuites par les tubes.

Ces fuites prennent, comme nous l'avons dit plus haut, plus ou moins d'intensité quand les eaux donnent lieu à beaucoup de

dépôt, parceque les parties calcaires se plaçant entre les joints que les mouvemens de la dilatation ont momentanément desserrés, les empêchent de se rapprocher, et donnent alors aux fuites d'eau par les joints des tubes plus d'intensité qu'elles n'en auraient. Il arrive même quelquefois qu'en se servant d'eau de bonne qualité, les joints des tubes qui donnaient issue à l'eau finissent par se fermer. Il est probable que cela tient à ce que les parties calcaires qui les tenaient ouverts ont été peu-à-peu entraînées.

Les inconvéniens des deux moyens de régler la consommation du combustible, et la répugnance que les mécaniciens ont à les employer, ont pour résultat que la production de vapeur dans les machines locomotives n'est jamais réglée; elle est très énergique quand le foyer est rempli de coke en état complet d'incandescence; elle est à peine suffisante quand le foyer est peu chargé ou que le coke nouvellement introduit est froid. La conséquence presque forcée de cela est que le mécanicien est presque toujours forcé d'avoir le combustible en excès dans le foyer, et de produire par conséquent la plupart du temps un excès de vapeur qui s'échappe par les soupapes; qu'il est privé des moyens de régler son feu d'après la production de vapeur qui lui serait nécessaire, et ne peut ménager son foyer dans le moment où il a trop d'énergie.

Cet inconvénient, déjà très grave puisqu'il entraîne une consommation aussi considérable qu'inutile dans les machines à cylindres de 12 pouces lorsqu'elles ne conduisent pas toute leur charge, ce qui est le plus ordinaire, va le devenir beaucoup plus avec les machines à grand foyer; il est donc essentiel d'introduire dans ces machines des moyens de régler le tirage dont leur conducteur puisse se servir pour mettre en rapport la combustion avec le travail à faire, c'est-à-dire avec la vapeur à produire.

6. Des Registres destinés a régler le Tirage. — Un des moyens de régler le tirage est un diaphragme ou papillon placé par Stephenson dans la cheminée vers l'extrémité du tuyau d'échappe-

ment. Ce papillon est ouvert au milieu pour ne point produire d'obstacle à l'échappement de la vapeur; mais il peut fermer au besoin toute issue dans la cheminée à la flamme du foyer et aux gaz produits par la combustion. Ce régulateur est manœuvré par le conducteur de la machine au moyen d'une tige à levier.

Le papillon de Stephenson est d'ailleurs utile pour un autre usage; en effet, lorsqu'on éteint le feu d'une machine qui a terminé son service, la grille se trouvant entièrement dégarnie et même démontée, l'air entre par là avec la plus grande affluence, parceque la chaleur de la machine entretient un tirage très vif. L'effet de ce passage d'air froid est désastreux pour une chaudière par les raisons déjà expliquées. Si l'on adapte à la cheminée un papillon de Stephenson, et qu'on ait soin de le fermer dans ces circonstances, le courant d'air ne peut pas avoir lieu, et il en résulte un excellent effet. Un autre moyen que nous verrions un grand avantage à employer conjointement avec le précédent serait de placer à la naissance du conduit d'échappement un second conduit s'ouvrant dessous la boîte à fumée par un robinet à large ouverture. Ce robinet serait manœuvré par le mécanicien, par une tige à levier; en l'ouvrant, une certaine partie de la vapeur inutile passerait par ce conduit; la quantité qui sortirait par le tuyau d'échappement débouchant dans la cheminée étant ainsi réduite, le tirage serait diminué; il pourrait même être presque supprimé. Ce moyen aurait un avantage notable sur l'autre, car en augmentant par le fait de l'ouverture du robinet la section des orifices servant à l'échappement, il réduirait la pression que la vapeur comprimée par l'exiguité de l'orifice d'échappement éprouve pour sortir, et augmenterait ainsi la force de la machine. Nous croyons donc devoir en recommander l'emploi; l'expérience a déjà indiqué quelque chose d'analogue à ce que nous conseillons ici. Sur le chemin de fer de Saint-Germain, une des machines de Bury ayant un grand excès de puissance de vaporisation, son conducteur imagina de la faire fonctionner en tenant constamment ouvert le robinet de vidange du conduit d'échappement. Cette disposition a eu pour résultat un tirage plus

modéré, mais toujours suffisant, et par conséquent une certaine économie de combustible; il manquait pour le compléter de pouvoir à volonté régler l'ouverture de ce robinet, et d'augmenter au besoin cette ouverture jusqu'à annuler presque complétement le tirage.

7. Des Explosions. — Nous avons peu de chose à dire sur les explosions des machines locomotives; ce genre d'accidens ne peut être attribué qu'à la volonté du conducteur ou à un défaut de surveillance de sa part. Le premier devoir est de veiller à ce que les deux soupapes débitent toutes deux la vapeur à la pression de 5 atmosphères au plus. Une machine n'est pas en règle, quand, à cette pression, la soupape variable émet seule de la vapeur; la soupape fixe doit être aussi sensible que l'autre.

Il est probable que les explosions si rares dont il a été question jusqu'à présent n'ont eu d'autres causes que l'imprudence des conducteurs qui ont voulu élever trop haut la pression, et ont empéché le débit des soupapes; peut-être aussi cette imprudence était-elle combinée avec un faux système de clouure et d'emboutissage de la tôle et la rupture des grands boulons intérieurs de la plaque de l'avant; nous indiquerons seulement ce point aux constructeurs sans l'affirmer, parceque nous connaissons quelques chaudières où les clouures et les dispositions des feuilles sont moins bien entendues que dans d'autres pour résister aux pressions intérieures. Les explosions sont dangereuses pour les conducteurs, parceque c'est toujours la plaque du devant dont la surface plane est d'une dimension considérable qui tend à céder le plus tôt sous l'effort de la pression; elles sont sans le moindre danger pour les voyageurs, parcequ'elles ont lieu par déchirure.

Sur le chemin de fer de Paris à Saint-Germain, les conducteurs ne peuvent charger leurs soupapes variables au-delà de 5 atmosphères; cet exemple devrait être imité généralement. Quant aux soupapes fixes, elles sont hors de la portée des conducteurs, et vérifiées souvent par le chef surveillant de conduite. A l'aide

de ces précautions, les explosions doivent être regardées comme impossibles.

Une dernière observation suffira pour démontrer aux mécaniciens l'inutilité d'augmenter, dans la plupart des cas, la pression en serrant les soupapes : c'est que lorsqu'on augmente ainsi la pression de la vapeur dans la chaudière, la machine acquiert seulement par-là le pouvoir de conduire un train plus lourd, mais cela n'a pas d'influence sensible sur la vitesse; ils sentiront alors qu'en se rendant coupables d'une faute très grave ils n'en retirent même pas les fruits qu'ils se promettaient; en effet, la vapeur agissant dans les cylindres à une pression moindre que celle de la chaudière, à quoi sert d'augmenter cette dernière quand une plus grande ouverture du régulateur suffit pour que la tension dans les cylindres augmente. L'important, pour la vitesse, c'est de produire dans le même temps une plus grande quantité de vapeur à la tension voulue, afin de satisfaire à un plus grand nombre de coups de piston, et non pas de produire cette vapeur sous une pression plus élevée qu'on n'en a besoin. Que le mécanicien s'attache donc uniquement à diriger le feu et l'alimentation de la manière convenable; il importe qu'il se pénètre bien de cette idée.

8. Appareils de distribution de vapeur et régulateurs. — Après les appareils de génération de vapeur viennent ceux qui servent à sa distribution, c'est-à-dire destinés à la faire passer de la chaudière dans les cylindres, où elle exerce sur les pistons la pression qui produit leur mouvement et fait fonctionner la machine; ceux qui servent ensuite à la faire passer des cylindres dans la cheminée où elle produit le tirage par son échappement. Ces conduits de distribution ont, avec les appareils de même destination dans les machines fixes, de notables différences.

La prise de vapeur ou l'orifice par lequel elle s'introduit dans les conduits de distribution est placée dans l'intérieur de la chaudière et s'ouvre à la partie supérieure du dôme qui la sur-

monte; l'objet de ce dôme est ainsi de porter le plus haut possible l'introduction de vapeur, afin de lui donner le temps d'abandonner l'eau qu'elle tient en suspension. Le conduit par lequel s'introduit la vapeur se prolonge dans la chaudière jusqu'à son extrémité, il sort par la caisse à fumée et là se bifurque pour distribuer la vapeur dans chaque cylindre; ce conduit est fermé dans l'intérieur par un appareil appelé régulateur qui sert à régler l'introduction de vapeur dans les cylindres; cet appareil est en même temps obturateur, c'est-à-dire qu'il ferme complétement le passage de la vapeur; la prise de vapeur est placée soit en tête de la chaudière au-dessus de la boîte à feu, soit vers l'extrémité près de la cheminée. Dans le premier cas, lorsque le conduit traverse complétement la chaudière, il est attaché aux deux faces opposées de ses extrémités, et comme il ne se prêterait pas facilement aux jeux de la dilatation, il est muni d'un stuffen-box.

Les joints des pièces qui forment le conduit de vapeur dans la chaudière doivent être faits avec le plus grand soin, afin que l'eau ne s'introduise pas dans le conduit; la section du conduit est ordinairement égale ou supérieure à celle des lumières ou passage de vapeur dans les cylindres; il en est de même des orifices que le régulateur ouvre ou ferme.

Les régulateurs ont des formes différentes; mais le plus généralement adopté est composé de deux disques superposés, dont l'un est mobile; ils sont tous deux découpés de manière à ce que les parties ouvertes puissent se correspondre ou se croiser pour laisser passage à la vapeur ou l'arrêter.

Le disque mobile est retenu sur le disque fixe par la pression de la vapeur et par une vis et un ressort; le ressort est nécessaire parcequ'il arrive quelquefois que la pression de vapeur pourrait devenir plus élevée dans le conduit de vapeur que dans la chaudière. Nous expliquerons cela quand il sera question de la marche à contre-vapeur.

D'autres formes de régulateur ont été adoptées; dans les uns, on a appliqué le principe des soupapes; dans les autres, celui des

robinets; dans d'autres encore, celui des tiroirs; les meilleurs sont ceux qui mettent en frottement le moins de surfaces, et dans lesquels le mouvement de l'appareil donne lieu au moindre effort; pour cela, il importe d'éviter, par des dispositions convenables, l'effort nécessaire pour vaincre la pression de vapeur, en l'équilibrant par une pression à-peu-près égale; d'éviter aussi les frottemens qui résulteraient de la dilatation inégale de pièces ajustées et enfermées les unes dans les autres; les régulateurs où des surfaces cylindriques sont en frottement ont cet inconvénient au plus haut degré; il y a lieu de rejeter aussi les régulateurs qui exigent des hélices à l'intérieur de la chaudière, sur lesquels agirait la pression de la vapeur.

Ce qu'il importe surtout c'est qu'un mécanicien connaisse parfaitement la forme du régulateur de sa machine, car le degré d'ouverture de cet appareil est pour les machines délicates et de faibles dimensions une des bases fondamentales d'une marche régulière; une trop grande ouverture du régulateur exténue en peu de momens la production de vapeur; une trop faible ouverture diminue trop la force produite par la machine et ralentit beaucoup sa marche.

9. Des Cylindres, des Boîtes a tiroir et des Tiroirs.—La vapeur passant par le conduit bifurqué qui se rend aux cylindres, passe par la boîte à tiroir dans laquelle se produit le travail de sa distribution alternative des deux côtés du piston.

L'introduction de la vapeur est facile à comprendre: le fond de la boîte à tiroir est percé par trois orifices appelés lumières; les deux lumières extrêmes conduisent dans l'intérieur du cylindre par ses deux extrémités. Un couvercle appelé *tiroir* ou *coquille*, soumis à un mouvement de va-et-vient, découvre alternativement ces deux lumières, et comme pendant le travail de la machine la boîte à tiroir reste constamment remplie de vapeur, celle-ci s'introduit dans le cylindre pendant l'instant que chaque lumière reste découverte. L'introduction de la vapeur est comme on le voit réglée d'une manière très simple. Reste à expliquer la sortie

de la vapeur. Toutes les fois que la vapeur s'introduit d'un côté du piston, il faut que celle qui lui a fait accomplir la révolution précédente s'échappe : à cet effet, une troisième lumière est percée sur le fond de la boîte à tiroir, elle n'est en communication ni avec le cylindre, ni avec la boîte à tiroir où séjourne la vapeur; elle est séparée de celle-ci et constamment couverte par le couvercle mobile ou tiroir qui couvre ou découvre alternativement les deux lumières extrêmes; elle conduit à l'extérieur par un tuyau qui s'ouvre dans la cheminée. Comme le couvercle mobile du tiroir qui la couvre est creux, il résulte de son mouvement alternatif que lorsqu'il découvre une des lumières extrêmes pour laisser s'introduire la vapeur dans le cylindre, il met en communication par son intérieur l'autre lumière extrême avec celle du milieu; alors la vapeur, qui à la demi-révolution précédente du piston s'était introduite dans le cylindre par la lumière alors découverte, ressort par le même orifice, entre dans l'intérieur du tiroir, y trouve la lumière de sortie et s'y précipite; ainsi, la boîte à tiroir sert toujours au passage de la vapeur qui s'introduit dans les cylindres; le tiroir fait servir uniquement sa cavité intérieure au passage de la vapeur qui sort des cylindres. Les deux lumières extrêmes admettent la vapeur quand elles sont découvertes, et elles la rendent alternativement à la lumière du milieu quand elles sont couvertes par le tiroir. Ainsi, le tiroir ne découvre jamais qu'une lumière extrême à-la-fois pour l'introduction de la vapeur, et il couvre en même temps les deux autres pour la sortie de vapeur par son intérieur. Ainsi, la pression de vapeur qui existe dans la boîte à tiroir s'exerce sur le piston. Sous le tiroir, la vapeur mise en communication avec l'atmosphère perd instantanément sa pression. Le piston est donc vivement poussé d'un côté par la pression de la vapeur; de l'autre côté il ne rencontre d'obstacle qu'une pression qui s'affaiblit subitement. Or, c'est la différence de ces deux pressions qui fait fonctionner la machine : s'il y avait égalité entre elles, le piston resterait en équilibre et sans mouvement. Pour que cette différence soit la plus grande possible, il faudrait que la pression de la vapeur

qui s'introduit dans le cylindre ne fût pas moindre que celle qui existe dans la chaudière, et que la pression de la vapeur qui sort des cylindres ne fût pas plus grande que la pression de l'atmosphère dans lequel elle s'échappe; mais ce but est difficile à atteindre. Les pistons des machines locomotives étant animés d'une très grande vitesse, la vapeur est obligée de prendre dans les lumières d'introduction une vitesse qui est en raison inverse de la section de la partie découverte de la lumière avec l'aire du cylindre. Cette vitesse se trouve encore affectée par l'irrégularité provenant de la transmission du mouvement circulaire en un mouvement rectiligne au moyen d'une manivelle; une manivelle suivant un mouvement régulier transmet à une tige rectiligne horizontale un mouvement dont la vitesse est représentée par 0,293 pour le quart de la circonférence qui se rapproche le plus de la verticale, et par 0,707 pour le quart qui se rapproche le plus de l'horizontale. Ainsi, la vitesse totale du piston se compose d'un minimum et d'un maximum; le minimum a lieu quand la manivelle passe du dessus au dessous de l'horizon, le maximum quand elle accomplit le quart de cercle de passage d'un côté à l'autre de la verticale; en d'autres termes, plus la direction du mouvement d'une manivelle s'approche du parallélisme de la tige rectiligne qu'elle conduit, plus la vitesse transmise à cette tige est grande, plus elle s'éloigne de ce parallélisme pour s'approcher d'une direction perpendiculaire à cette tige rectiligne, plus le mouvement qu'elle lui imprime est lent.

Lorsque la machine marche à sa plus grande vitesse, c'est-à-dire à 60 kilomètres par heure, ou 1 kilomètre par minute, la dimension des roues étant de 1 m. 60, et leur circonférence de 5 mètres, le nombre des révolutions de chacun des pistons est de 200 par minute, et celui de leur course est de 400 : cette course étant de 0,46, cela fait une vitesse du piston de 184 mètres par minute, ou de 3m 06 par seconde, au lieu de 1 mètre qui est la vitesse que l'on donne aux pistons dans les machines fixes. Les dimensions des lumières étant ordinairement du dixième de l'aire du piston, la vitesse de la vapeur dans

les lumières serait de 30 mètres par seconde, si les lumières étaient toujours complètement ouvertes quand le piston accomplit sa course; mais il n'en est pas ainsi, et cette ouverture totale n'a lieu qu'au milieu de la course et à un point ou le piston a une vitesse une fois et demie aussi forte que la vitesse moyenne que nous venons d'indiquer: cette vitesse par les lumières serait donc de 50^{m}. Tenant compte en outre des contractions qui réduisent l'ouverture aux 2/3, on arrive à trouver que la vapeur a une vitesse moyenne aux lumières de 75 à 80^{m} par seconde. Cette vitesse, qui est fort considérable, ne produit pas cependant un effet aussi nuisible qu'il y aurait lieu de le craindre au premier abord. La vitesse d'écoulement de la vapeur dans le vide est de plus de 600^{m} par seconde; dans l'atmosphère, la vitesse de la vapeur qui s'écoule est de 427^{m} quand la pression absolue de la vapeur est de deux atmosphères.

Cette vitesse est encore de 265^{m} pour une pression effective d'un quart d'atmosphère ou absolue de 1^{at}, 25; enfin la pression génératrice de la vitesse d'écoulement de 80^{m} ne sera que de un cinquantième d'atmosphère seulement.

La résistance causée par les lumières d'introduction est donc parfaitement insensible même aux grandes vitesses; mais fût-elle considérable, elle n'aurait encore aucun effet fâcheux : en effet, à une vitesse de 15 lieues à l'heure, la chaudière ne peut fournir au cylindre que de la vapeur à une pression réduite, qu'importe alors que cette réduction ait lieu en partie par les lumières, au lieu de l'être en totalité par le régulateur?

Mais, si nous n'avons pas de perte de force provenant des lumières d'introduction, il n'en est pas de même des lumières d'échappement. La pression que la vapeur exigera pour son écoulement sera toujours en défalcation de la pression utile, et cette pression pourra être considérable; car la vitesse devra être énorme, pour que les cylindres se vident instantanément. Il faut alors que la vitesse de 80^{m}, qui était suffisante quand elle durait toute la course, devienne beaucoup plus considérable pour débarrasser immédiatement un côté du cylindre.

En second lieu la vapeur au sortir des cylindres se réunit dans un tuyau rétréci au bout et présentant un second obstacle. Le but de cette espèce de tuyère est d'activer le plus possible le tirage. Mais la résistance qu'elle produit est naturellement au détriment de la force motrice ; on peut s'en rendre compte, du reste, en supposant qu'à la vitesse de 16 lieues le cylindre soit rempli de vapeur à 3^{at}, 75 qui se détende successivement et s'écoule. En calculant le volume de cette vapeur avec détente successive, on trouve qu'il est à peu près le double de celui du cylindre. Prenant le volume total de vapeur fourni, ayant la section du tuyau d'échappement, qui, par sa conicité, ne présente que peu de contraction, on arrive à ce résultat, que, supposant que l'écoulement ait lieu constamment, la vapeur aurait une vitesse moyenne de 250^{m} correspondant à une pression génératrice d'un quart d'atmosphère. Ce résultat, qui sera étudié et développé plus loin, indique qu'à de grandes vitesses l'échappement absorbe une fraction notable de la puissance de la machine. Ajoutant à cela qu'à ces mêmes vitesses la vapeur motrice doit nécessairement diminuer de pression et qu'en dernier lieu les résistances de l'air augmentent et finissent par devenir importantes, on comprend facilement qu'il y ait certaines limites de vitesse que l'on ne puisse dépasser avec certaines machines quand même elles marcheraient à vide.

Ces limites, qui étaient d'abord de 16 à 18 lieues à l'heure, se sont élevées, pour les dernières machines, presqu'à 22 et même 25 lieues à l'heure.

10. Distribution de la vapeur par les excentriques.—Ainsi que nous l'avons dit, la vapeur s'introduisant dans les cylindres d'un côté des pistons, et s'échappant simultanément du côté opposé à celui où elle s'introduit, exerce sur ces pistons une pression qui constitue la puissance, la cause du travail de la machine. Il est bon de savoir comment cette vapeur est distribuée alternativement de manière à imprimer aux pistons ce mouvement de va-et-vient qui se transforme en un mouvement rotatif et force la machine à se déplacer. Les deux pistons sont attachés chacun par une tige fixe

guidée dans sa marche rectiligne, et par une tige mobile, nommée bielle, à un axe coudé formant deux manivelles d'équerre. Sur cet axe sont montées les deux roues dites travailleuses de la machine, qui reçoivent ainsi directement des pistons un mouvement rotatif.

Le moyen le plus simple de distribuer la vapeur au commencement de la course des pistons était d'employer le mouvement rotatif de ce même axe à conduire, en même temps que les roues de la machine, deux excentriques menant les tiroirs par un renvoi de mouvement; de placer les excentriques sur l'axe des roues de manière à dégager du tiroir les lumières d'introduction de la vapeur dans les cylindres, et à couvrir sous lui celles de sortie de la vapeur au commencement de la course des pistons; pour cela chaque excentrique a été monté sur l'axe des roues d'équerre avec la manivelle du cylindre dont il conduit le tiroir. Pour bien comprendre ce qui se passe alors, il ne faut pas oublier que lorsqu'une manivelle transmet un mouvement à une tige horizontale, elle imprime à cette tige un mouvement rapide quand elle traverse la verticale, et lent lorsqu'elle traverse l'horizontale.

D'après cette loi géométrique, lorsque deux manivelles sont montées d'équerre sur le même axe et transmettent leur mouvement à deux tiges rectilignes, bien que les manivelles soient animées de la même vitesse, le mouvement des tiges qu'elles conduisent a une vitesse différente pour chacune.

Or, le mouvement lent est justement pour le piston celui où il se trouve au commencement et à la fin de sa course, puisque c'est le moment où la manivelle traverse l'horizontale. Si donc l'excentrique est monté d'équerre avec la manivelle, le moment où il traversera la verticale et donnera le plus de vitesse au tiroir correspondra avec le moment le plus lent du piston et à la position horizontale de la manivelle; l'introduction de vapeur et son échappement qui dépendent du même mouvement de tiroir auront donc lieu subitement et simultanément toutes les fois que la manivelle sera horizontale, c'est-à-dire que le piston aura achevé une course et en commencera une autre.

De plus, on remarquera que lorsqu'une manivelle est placée

4

d'équerre avec une seconde manivelle sur un axe, quand l'une passe de l'horizon à l'horizon en faisant une demi-révolution l'autre passe de la verticale à la verticale : or si ces deux manivelles transmettent chacune un mouvement rectiligne à une tige, la tige menée par la première manivelle subira un seul mouvement dans une même direction, la tige menée par l'autre manivelle subira la même quantité de mouvement, mais partagée en deux directions contraires. Il résulte de cette propriété géométrique que dans une machine locomotive, au moment où la manivelle est horizontale et le piston au commencement de sa course, pendant la première moitié de cette course le tiroir mené par l'excentrique qui était vertical subit un mouvement qui découvre totalement la lumière quand l'excentrique arrive à l'horizon ; et dans la seconde moitié de la course de la manivelle, le tiroir revient sur lui-même et recouvre la lumière qu'il avait découverte. Il se trouve ainsi tout prêt pour découvrir la lumière opposée au commencement de la course suivante.

Il résulte encore de là que lorsque la manivelle est horizontale, l'excentrique étant vertical les deux lumières d'introduction de apeur sont fermées.

Tel est le principe de distributions de vapeur. Ce n'est pas le lieu d'entrer ici dans les détails de toutes celles qui sont en usage, elles ne diffèrent pas essentiellement l'une de l'autre. Ces détails seront donnés à leur place. Les renvois de mouvement des excentriques aux tiroirs se font par des pièces légères et mobiles ; cependant comme les tiroirs glissant sous la pression de la vapeur éprouvent un frottement considérable, ces pièces sont fatiguées. Elles s'altèrent très souvent par l'usure des excentriques et par le jeu des calages des leviers, ou des charnières d'assemblage ; elles cèdent aussi par trop d'élasticité. Ces causes d'altération ont une influence d'autant plus grave qu'un retard de quelques millimètres dans le tiroir a une importance majeure sur la régularité de la distribution ; et comme la course de l'excentrique est la même que celle du tiroir, les retards de mouvement et les pertes de vitesse qui ont lieu par les causes ci-dessus dans les renvois de mouve-

ment doivent être évités avec le plus grand soin. L'attention la plus sévère du conducteur doit se porter sur ce point.

Les distributions de vapeur peuvent se suspendre au moyen de leviers de déclanchement, qui détachent les tiges des excentriques du levier de conduite des tiroirs ; elles peuvent ainsi, et au moyen du même levier de déclanchement, renverser pendant la marche le mouvement des tiroirs de manière à le rendre contraire à la marche de la machine.

Ce renversement de la distribution de vapeur n'est employé que lorsque les autres moyens d'arrêt de la machine sont insuffisans. Dans ce cas, les lumières d'introduction de vapeur se trouvent découvertes au moment et du côté où le piston revient sur lui-même; la vapeur remplit alors le cylindre entier et s'oppose ainsi à la marche du piston, qui, s'il n'est pas arrêté, refoule la vapeur dans la chaudière. Dans ce même moment, la lumière d'échappement se trouve couverte sous le tiroir, et par conséquent mise en communication avec l'air qui est aspiré par la marche du piston, rentre par le tuyau d'échappement et remplit le cylindre. C'est ainsi que la marche de la machine à contre vapeur refoule de l'air dans la chaudière ; aussi les soupapes ne tardent-elles pas à s'ouvrir et à émettre de la vapeur mélangée d'air.

11. Alimentation de la chaudière. — Après le moyen de produire de la vapeur et de la distribuer dans les cylindres, viennent ceux de renouveler l'eau dans la chaudière à mesure qu'elle se trouve absorbée par le travail de la machine. Deux pompes servent à cet effet : elles sont aspirantes et refoulantes ; leur piston est un plongeur comme dans les machines fixes actuelles ; elles reçoivent l'eau du tender et la transmettent à la chaudière. Le volume de l'eau débitée par une de ces pompes est suffisant pour alimenter, dans vingt minutes environ, la consommation d'eau de la machine pendant une heure de marche. On peut régler la quantité d'eau que fournissent les pompes et même rendre leur débit continu, mais cela n'est possible qu'avec les machines nouvelles, dont les foyers sont très puissans ; les autres machines sont beaucoup trop

sensibles pour ne pas faire succéder les unes aux autres les deux causes de refroidissement momentané de la chaudière, l'alimentation d'eau et la recharge du foyer en combustible.

12. Du Mécanisme et de sa disposition. — Il nous reste, pour achever les indications générales sur les machines locomotives, à parler de la disposition de leur mécanisme.

Le travail de la machine naissant dans les cylindres, les efforts produits par eux partent de la boîte à fumée dans laquelle les cylindres sont enfermés. Ces efforts ont lieu dans deux sens, puisque, suivant que la vapeur est d'un côté ou de l'autre des pistons, ils impriment aux tiges un effort de traction ou de pression.

Ces efforts se transmettant dans toute leur énergie à l'axe coudé, il est nécessaire que cet axe soit rattaché à la boîte à cylindres par un système de membrures très solide. A cet effet, la chaudière est posée sur un châssis avec lequel elle est assemblée par des supports boulonnés ; mais il est vrai de dire que, dans la plupart des machines connues, cet assemblage est défectueux ; il semble qu'il n'ait eu pour objet que de faire supporter au châssis le poids de la chaudière et non pas en même temps de l'assurer contre les efforts horizontaux qu'exercent les forces développées dans les cylindres. Il en résulte que dans beaucoup de machines, après quelques mois de travail, il se manifeste un jeu sensible, pour un œil exercé, entre la boîte des cylindres et les supports d'assemblage de la chaudière sur le châssis. C'est sous le châssis que sont placés les coussinets ou boîtes à graisse dans lesquels tournent les fusées d'extrémité des essieux, qui supportent tout le poids de la machine.

Si ces coussinets étaient le seul point de résistance opposé aux cylindres, il est probable que bientôt non-seulement les supports de la chaudière sur le châssis ne résisteraient pas, mais que de plus l'essieu si vivement sollicité dans les deux sens horizontaux par les manivelles, et retenu seulement dans ses extrémités, recevrait des vibrations qui entraîneraient promptement sa rupture. C'est pour obvier à cela que la boîte des cylindres est rattachée à

l'essieu coudé par quatre ou au moins trois membrures en fer. Ces membrures sont fortement boulonnées à la boîte des cylindres, et portent chacune un collier en cuivre dans lequel l'essieu coudé est enfermé. Ce collier peut varier verticalement, et il faut qu'il en soit ainsi à cause du jeu des ressorts et des ressauts qui séparent souvent l'essieu de la chaudière; mais dans le sens horizontal, qui est celui des efforts principaux auxquels l'essieu coudé doit résister, le collier est invariablement tenu au moyen de coins suspendus opérant comme des clés pour serrer les coussinets contre l'essieu. D'après cette disposition, l'essieu coudé est contenu par six points différens, ou au moins cinq, qui se rattachent à la boîte à cylindres, et dans lesquels il exerce son mouvement rotatif. L'attention du conducteur doit être portée à ce que ces moyens d'attache remplissent constamment leur but; et à cet effet, quand les coussinets de l'essieu viennent à s'user, il les resserre en rehaussant les coins.

Les trois membrures ou grandes traverses dont nous venons de parler sont attachées à leur extrémité, du côté de l'essieu, à des oreilles boulonnées à la boîte à feu; mais il importe que ce joint ne soit pas très rigide et laisse à froid un peu de jeu pour l'alongement, par le motif signalé plus haut, que les grandes traverses ne sont pas sujettes au même alongement par la dilatation que le corps de la chaudière; et quand cet alongement a lieu, la chaudière tirant sur les grandes traverses, les joints avec la boîte à feu se fatiguent dans leur ajustement et livrent passage à l'eau contenue dans les doubles parois de la boîte à feu.

Dans une machine nouvelle on a supprimé les traverses du milieu, et l'on s'est appuyé directement à la boîte à feu pour fixer les colliers qui maintiennent l'essieu coudé. L'expérience prononcera sur le bon ou mauvais succès de cette nouvelle disposition qui nous paraît peu justifiée.

Il reste à faire remarquer que la nécessité de réduire les poids des machines locomotives a conduit à l'emploi presque exclusif du fer dans leur composition. Il en résulte que dans toutes les pièces mises en frottement l'une contre l'autre par un mouvement

rotatif ou rectiligne les surfaces glissant l'une contre l'autre sont proportionnellement plus faibles que dans les machines fixes ordinaires dans lesquelles la fonte est employée dans de fortes dimensions, soit pour les axes, les balanciers, les bielles, les guides, les excentriques, etc. Or, il est fort important de savoir que, dans les machines, les frottemens ne dépendent pas seulement des pressions, mais de la propriété plus ou moins complète du métal de supporter ces pressions sans altération. Quand l'altération des coussinets a lieu, les frottemens se manifestent avec une extrême énergie, la matière s'échauffe, se lime en grippant, se fond même quelquefois. Pour empêcher cette altération, on tient constamment alimenté d'huile les surfaces en frottement, et cela est d'autant plus nécessaire que les surfaces sont en général pour les sommes de pression qu'elles supportent réduites presqu'à leur limite minimum. Aussi la moindre négligence sur ce point a-t-elle de graves inconvéniens : le premier est d'augmenter considérablement la résistance de la machine et souvent d'arrêter sa marche, le second d'user les coussinets très rapidement, le troisième de causer la rupture des pièces par suite de leur échauffement et des efforts auxquels elles sont soumises[1].

Le plus petit échauffement des coussinets soumis à de fortes pressions changeant immédiatement les conditions de dureté réciproques des métaux en frottement, augmente l'adhérence entre leurs surfaces, elles se creusent et se déchirent, et l'huile ne rétablit jamais complétement le bon travail des surfaces ainsi altérées.

C'est donc dans une rigoureuse attention dans le graissage que se trouve une des plus sûres conditions de conservation et de bon travail des machines. Un autre soin non moins nécessaire doit

[1] On comprendra facilement de quelle importance est le graissage quand on saura que pour le fer frottant sur le bronze, par exemple, le coefficient de frottement quand les surfaces sont bien graissées est de 0,07 à 0,08 de la pression; quand les surfaces sont seulement onctueuses et mouillées d'eau il devient égal à 0,19 et enfin il s'élève à 0,25 quand les surfaces sont très peu onctueuses.

être porté à maintenir autant que possible toutes les pièces dans leur état premier et normal de montage. Une machine composée de pièces si nombreuses et sujettes à de si fortes vibrations sous l'influense des chocs et des efforts rapides et incessans qu'elle éprouve, prend naturellement une certaine mobilité dans ses assemblages ; c'est à prévenir cette mobilité que le conducteur doit s'appliquer ; il ne doit laisser dans les coussinets que le jeu nécessaire ; il doit remplacer les pièces qui s'usent et resserrer les montages qui se relâchent. Ces assemblages sont d'ailleurs disposés de manière à parer aux inconvéniens de l'usure partout où elle se manifeste dans les pièces mises en frottement.

13. De l'Adhérence. — On avait d'abord supposé que l'adhérence qui pourrait exister entre les roues des machines et les rails ne serait pas suffisante pour permettre de remorquer des poids considérables, et l'on commença par faire marcher les machines sur des crémaillères ; mais on reconnut bientôt que l'adhérence des roues aux rails, quelque polies que fussent les surfaces en contact, était très suffisante, et que, de plus, l'emploi des crémaillères ne pouvait se faire que dans une marche très lente.

Cette adhérence varie en effet suivant le plus ou moins de propreté des rails du 5e au 15e du poids que portent les roues motrices des machines ; et comme ce poids est ordinairement de 5 tonnes, les roues peuvent sans glisser se prêter à un effort de 1000 k. au plus, à 320 k. au moins : cela excède de beaucoup le travail ordinaire ; en effet, le poids des convois se partage en deux parties : celui des machines et celui des wagons. Le frottement développé par les machines équivaut à 8 k. par tonne et celui des convois à 4 k. environ ; les machines étant supposées de 10 tonnes absorbent donc 80 k. ; il reste alors dans le poids représentant l'effort auquel l'adhérence fait équilibre de 920 à 250 k. qui permettent la traction de 230 tonnes au plus ou de 62 tonnes au moins.

Les trains ordinaires de voyageurs dans l'exploitation courante

étant de six voitures faisant un poids de trente tonnes quand elles sont remplies de voyageurs, le poids qui représenterait la somme d'adhérence nécessaire pour remorquer ce poids serait de 120 kil., et avec la machine et son tender de 220 kil. au plus ; les limites les plus ordinaires de l'adhérence étant du sixième au dixième, il serait suffisant de faire porter un poids de 2 tonnes et demie aux roues motrices des machines dont le service ordinaire serait limité aux trains dont il est question ci-dessus.

Mais loin de là, le poids des machines de 12 tonnes est réparti, savoir :

Sur les roues motrices.	5 tonn.	5
Sur les roues de devant.	4 —	5
Sur les roues de derrière	2 —	
Total. . .	12 —	

Cette répartition a sans doute l'avantage de permettre à une machine de remorquer des poids considérables et de faibles poids ; mais elle a aussi le grave inconvénient d'être, pour le chemin de fer, une cause de fatigue et de dénivellations dans la position des rails qui exigent de fréquentes réparations.

Cette influence si nuisible du poids des machines a été démontrée par des résultats d'expériences incontestables.

Le chemin de fer de Liverpool à Manchester était muni de rails de 20 kilog. à l'époque de son ouverture, le poids des machines locomotives était de 5 tonnes; mais il fut démontré en peu de mois, par la légèreté des pièces et la mobilité que prirent les assemblages, par la faiblesse de la surface de chauffe de la chaudière, que le poids devait en être porté à 7 et 8 tonnes; mais sous l'influence de ce poids et des grandes vitesses des machines, le chemin fut bientôt mis dans un état très inquiétant, les rails fléchissaient pour la plupart ou rompaient.

14. Des Effets de la machine sur les rails.— Il est facile de se

rendre compte des effets des machines sur les rails ; ces effets sont la conséquence directe des vices inhérens au mode de pose suivi jusqu'à ce jour, vices d'ailleurs bien connus des ingénieurs, et auxquels ils s'efforcent de remédier.

Un chemin de fer est simplement posé sur le sol, il n'y est rattaché par d'autre lien que son poids et celui de la faible couche de terre ou de sable qui enveloppe les traverses. Lors du passage d'une machine locomotive, le terrain est déprimé par l'influence du poids. il s'infléchit suivant son plus ou moins d'élasticité et suivant aussi que le rail reporte la pression sur une plus ou moins grande portion de sa surface. Le rail suit cette inflexion; et comme, lorsqu'il s'affaisse sous la machine, il se relève à l'avant et l'arrière, cela produit un mouvement d'ondulation chaque fois qu'il passe un train. Cet effet est tellement énergique que dans les pentes de 11 à 14 millimètres la simple influence du travail fait descendre insensiblement les rails.

L'effet de cette ondulation générale des rails n'aurait pas un très grand inconvénient si les inflexions se bornaient aux limites d'élasticité du terrain; mais il est loin d'en être ainsi : les vibrations qu'elle produit ont encore une autre cause que celle qui est inhérente au terrain même; cette cause est dans l'inégalité de résistance des rails. En effet à l'endroit du joint le rail n'offre plus la même résistance que dans les autres parties; le poids se trouve donc sur ce point reporté sur une plus faible surface du terrain: à l'infléchissement des rails d'abord plus considérable dans cette partie succède leur relèvement après le passage du poids, la traverse est alors détachée du sol, et toutes les fois qu'elle a à supporter de nouveau le poids des roues du convoi elle est abaissée de nouveau par un choc violent contre le sol qui se déprime de plus en plus. Ces vibrations n'ont sans doute que quelques millimètres, un centimètre au plus pour limite dans les mauvaises poses; mais cela suffit pour occasionner des chocs à chaque passage de rail, annoncés par une espèce de martelage dont la cause est dans la différence de niveau que prennent les rails à leur joint. Celui qui est sous l'influence de la charge s'affaisse, l'autre reste élevé, et les

roues en surmontant cet obstacle éprouvent un choc dont le bruit signale le plus ou moins d'intensité.

On peut concevoir d'après cela combien la destruction d'un chemin de fer avec des rails de 20 kil. devait être rapide sous l'influence de poids aussi considérables que ceux des machines et wagons et à de si grandes vitesses; il y eut nécessité de prendre immédiatement un parti, car le mal croissait avec une rapidité vraiment effrayante.

Les mesures prises furent de deux natures : la première fut de remplacer les rails de 20 kil. par des rails de 30 kil. Mais comme cette opération ne pouvait se faire que progressivement, elle eût été insuffisante; on se détermina alors à mettre 2 roues de plus sous les machines à 4 roues. On avait remarqué en effet que l'action la plus nuisible des machines sur le chemin provenait de la manière dont, à la suite des vibrations que nous avons indiquées plus haut, les roues plongeaient aux joints des rails; on se borna alors à reporter une partie du poids des machines sur deux roues à l'arrière dans le moment du plongement, et pour cela on se contenta de placer simplement ces roues de manière à ne leur faire porter quand la machine était vide qu'une fraction extrêmement minime de leur poids pour empêcher le ballottement du ressort, puis quand la machine était remplie d'eau les ressorts se chargeaient de 500 kilog. de plus environ. Ce moyen, quelque minime qu'il semblât en apparence, devint efficace au-delà de tout espoir; il resta bien évident que dans les vibrations du travail les roues de derrière se chargeaient d'une partie notable du poids des machines, puisque la dégradation du chemin s'arrêta, et l'on put attendre patiemment le remplacement des rails légers qui n'aurait même plus été nécessaire si le chemin n'avait pas dû être parcouru à des vitesses extrêmement considérables.

Nous n'avons pas besoin d'expliquer comment il se fait que dans les machines à 4 roues l'axe coudé soit forcément chargé de plus de moitié du poids. Quand les cylindres sont placés entre les roues, il faut que les manivelles de l'axe coudé échappent le front de la boîte à feu; alors une partie notable de la machine se

trouve placée en arrière de l'essieu coudé. La boîte à feu, la partie carrée de la chaudière, la place du mécanicien se trouvent pour ainsi dire en porte-à-faux en dehors de l'essieu coudé, et le chargent démesurément.

On voit cependant que la distribution du poids des machines sur six roues n'a pas été faite pour distribuer le poids également, mais comme moyen de ménager la voie en ne reportant que pendant un faible instant du travail une portion du poids des roues motrices sur celles d'arrière; cela s'explique : sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, il se trouve de fortes pentes de 10 millimètres, et comme il importe de conserver aux machines une somme d'adhérence à-peu-près égale à l'effort maximum qu'elles peuvent faire, on n'a pas cru devoir chercher à diminuer le poids porté par les roues motrices. La forme des machines à six roues n'a donc de différence avec les machines à quatre roues que par l'addition de deux roues sur l'arrière, ne fonctionnant que dans les secousses. Cette modification, peut-être rationnelle pour des chemins de fer tels que celui de Liverpool à Manchester, sur lequel se trouvent des pentes variables et très fortes, est incomplète pour d'autres chemins de fer. En effet, les machines doivent être construites en vue du chemin sur lequel elles doivent fonctionner; si un chemin est court, les départs sont fréquens, les convois sont ordinairement légers; si les pentes sont faibles, l'effort fait par les machines est presque le même sur toute la ligne: un service de ce genre n'exigeant pas un effort considérable, la limite de l'adhérence peut être faible, et le poids porté sur les roues motrices beaucoup plus faible; mais comme on ne peut décharger les roues motrices sans charger celles de l'avant beaucoup plus que celles de l'arrière, le faible diamètre des roues de l'avant devient dans les machines actuelles une cause notable d'augmentation de frottement. Ce frottement croissant en raison inverse du diamètre des roues, il importe de ne pas ôter du poids sur les grandes roues pour le reporter sur les petites. Aussi, est-il beaucoup à regretter que l'on n'ait pas généralement dans les machines augmenté le diamètre des roues de l'avant. Il

est à-peu-près certain que cet avantage sera bientôt reconnu, et qu'il amènera de grandes économies dans les dépenses de réparation des chemins.

Les autres avantages de l'addition de deux roues aux machines à quatre roues, c'est qu'elles ont cessé de galoper, que leurs déviations latérales résultant principalement de l'affaissement inégal à droite ou à gauche des traverses ont perdu de leur intensité, que leur mécanisme s'est mieux conservé, leurs assemblages se sont maintenus davantage, les fuites par les tubes sont devenues moins fréquentes, enfin, en cas de rupture de l'essieu coudé, il n'y a pas de danger qu'elles sortent de la voie.

Une question fortement agitée sur le meilleur choix des dispositions à donner aux machines locomotives a été celle du châssis en dehors ou en dedans des roues. L'expérience a décidé pour les châssis extérieurs, d'accord en cela avec les principes. Un arbre supposé rigide, sollicité dans un sens rotatif par des forces rectilignes, tourne avec d'autant plus de stabilité que ses coussinets sont à de plus grandes distances. En supposant qu'un axe coudé ne soit tenu par ses coussinets que vers son milieu, lorsqu'il sera sollicité par des forces agissant dans des sens différens et opposés comme celles qui lui sont transmises par les cylindres, il cessera dès la moindre usure des coussinets d'être perpendiculaire au mouvement des pistons; il affectera au contraire un angle d'autant plus grand que les coussinets seront plus rapprochés du centre. Alors les rebords en saillie des roues viendront frapper contre les rails, la machine subira de violentes déviations latérales dangereuses à de grandes vitesses. Il en sera de même, et par une cause semblable, lorsque les manivelles, au lieu d'être le plus rapprochées du milieu de l'axe coudé, seront placées à son extrémité, comme cela a lieu dans les machines où on a mis les cylindres à l'extérieur. L'usure des coussinets a aussi dans ce cas pour résultat de donner une grande intensité aux déviations latérales.

15. Des Machines destinées au transport des marchandises.

— Pour les transports de marchandises on a l'habitude d'employer des machines dont les roues motrices sont accouplées aux roues de devant au moyen de bielles; ces roues sont alors d'un diamètre égal aux premières. Cet accouplement n'a d'autre but que d'augmenter l'adhérence en y faisant participer le poids porté par les roues de l'avant de la machine.

La charge portée par les roues étant ordinairement sur le chemin de Liverpool à Manchester de 5 tonnes, et l'adhérence d'un 5e de ce poids au maximum, cela suffirait pour remorquer 250 tonnes sur un chemin de niveau; mais le minimum de l'adhérence pouvant descendre au 15e, les machines ne pourraient avancer sans glisser même avec un peu plus du tiers de la charge ci-dessus.

Les convois ordinaires de voyageurs sont sur ce chemin d'un tiers à un quart du poids que les machines pourraient remorquer à une petite vitesse sur toute la ligne, la rampe de 10 millim. exceptée; la puissance des machines, calculée uniquement d'après les dimensions du cylindre, des manivelles et des roues, est alors trois ou quatre fois plus forte que la résistance à vaincre. L'adhérence pour ces sortes de convois est par conséquent toujours suffisante, et les retards par glissement sont très rares et imperceptibles.

Pour les transports des marchandises il n'en est pas ainsi; les trains sont considérables, l'adhérence doit faire équilibre à la puissance totale des machines, et l'accouplement est alors employé; mais cet accouplement a de graves inconvéniens: il entraîne des frottemens considérables causés par l'inégalité du diamètre des roues, conséquence de l'usure des cercles des jantes et des coussinets d'ajustement des bielles d'accouplement.

Il fait éprouver aux machines une grande difficulté de travail dans les courbes de faible rayon.

Les bielles d'accouplement sont aussi sujettes à se briser et peuvent faire dérayer la machine en arc-boutant sur le sol.

Les accouplemens se dérangent à de grandes vitesses.

Une machine accouplée, dont les roues glissent dans un temps

de neige par exemple, éprouve des torsions considérables dans la plupart des pièces en mouvement.

Dans un beau temps, les bielles d'accouplement n'étant plus nécessaires, deviennent un embarras.

Ces inconvéniens ont conduit M. Melling à employer sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester une autre méthode de transmettre aux roues de devant la solidarité du mouvement des roues motrices : c'est de placer entre ces roues un rouleau portant sur les cercles des jantes de chacune et pressé à volonté par une force considérable au moyen de petits cylindres à pistons dans lesquels on introduit la vapeur quand on veut augmenter l'adhérence de la machine.

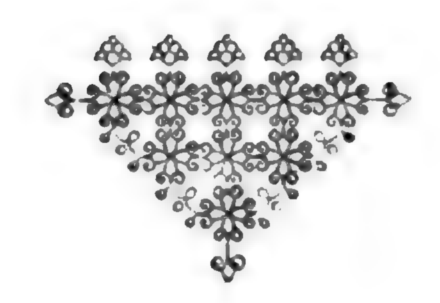
Le succès de cette application est donné avec détails dans un article fort intéressant de M. Edwards-Woods, imprimé dans le second volume des *Transactions des ingénieurs civils anglais.*

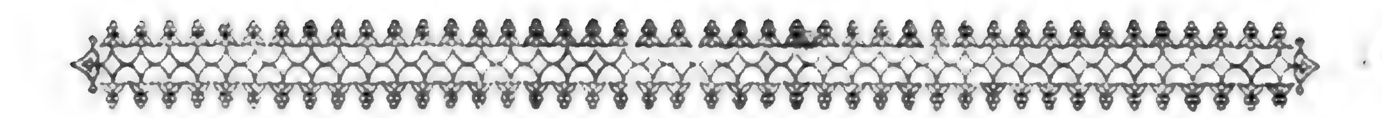
16. Du Tender. — A la suite d'une machine locomotive en mouvement, est attenant un charriot nommé tender, monté généralement sur quatre roues, et quelquefois sur six roues. Il contient l'eau et le combustible nécessaires pour alimenter le foyer et la chaudière pendant 40 kilomètres au plus, et 25 au moins. Pour les voyages qui dépassent cette limite, des réservoirs d'eau et des dépôts de coke sont ménagés sur l'étendue de la ligne à des distances convenables, et permettent de prolonger le parcours à des distances que limite seulement la solidité de la machine employée.

Le tender est lié avec sa machine par un boulon exactement ajusté dans une chape; ce boulon doit résister à toutes les forces développées par la machine : la caisse à eau du tender communique à la machine par les deux tuyaux des pompes alimentaires. La liaison par les corps des pompes se fait au moyen d'un tuyau articulé nommé raccordement, et dont la disposition est telle qu'il peut se prêter à tous les mouvemens latéraux et verticaux de la machine et du tender. Ces mouvemens sont inévitables par les raisons que nous avons déjà énoncées, basées sur le peu de stabilité du chemin, sur la grande vitesse de la machine, etc.— Le

boulon permet aussi ces mouvemens, excepté ceux d'alongement.

Les *tenders* bien construits doivent présenter, d'ailleurs, toutes conditions de légèreté et de solidité. Les joints des feuilles de tôle qui composent le réservoir d'eau doivent être bien étanches. Les robinets de conduite d'eau aux pompes doivent aussi bien contenir l'eau, et c'est là une condition qui n'est pas toujours remplie. Le combustible du tender se trouve au même niveau que le foyer; les roues sont calées sur les essieux comme dans les machines, et le poids du tender est suspendu sur ressorts pour éviter les brusques mouvemens de l'eau. A l'arrière est un crochet attaché à un puissant ressort de traction et de choc, qui convertit en des pressions plus ou moins énergiques les chocs exercés par l'allure et les mouvemens, quelquefois brusques, des machines.





SECONDE PARTIE.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES PIÈCES QUI COMPOSENT UNE MACHINE LOCOMOTIVE, ET DE LEUR TRAVAIL.

Les notions préliminaires que nous venons de donner sur les machines locomotives spécifient d'une manière assez générale les fonctions de l'ensemble des pièces qui les composent, pour que nous puissions maintenant revenir sur chacune de ces parties et les examiner en détail.

En reprenant donc l'ordre que nous avons adopté, nous examinerons successivement :

1° Le foyer, les tubes conducteurs de la flamme et de fumée, et la cheminée;

2° La chaudière et ses accessoires;

3° Les pompes ;

4° Les conduits de prise, de distribution et d'échappement de vapeur ;

5° Les tiroirs et les boîtes à tiroirs, les cylindres, le mouvement des excentriques pour la distribution et les appareils de conduite et de direction que le mécanicien a à sa disposition;

6° Les pistons, leurs tiges et leurs guides, et la communication de mouvement à l'arbre coudé;

7° Les grandes traverses et le châssis extérieur;

8° Les ressorts ;

9° Les roues ;

10° Le raccordement de la machine locomotive avec le tender ;

11° Le tender.

Nous partirons de deux types particuliers de machines locomo-

tives : la machine à quatre roues de Jackson, et la machine à six roues, à grand foyer des dimensions demandées pour le chemin de fer de Paris à Versailles.

17. Du foyer.—Les appareils de génération de vapeur dans une machine locomotive, peuvent se diviser en trois parties distinctes : la première, destinée à contenir le combustible, appelée boîte à feu ; la seconde, destinée à contenir l'eau et la vapeur produite, c'est la chaudière ; la troisième, destinée à l'écoulement de la flamme, de la fumée, et en général des produits de la combustion : on l'appelle boîte à fumée ou boîte des cylindres, parceque sa partie inférieure les contient tous les deux.

Les figures 1 et 7 donnent la coupe du foyer suivant un plan perpendiculaire à l'axe de la chaudière.

Les figures 2 et 3 donnent la coupe du même foyer dans le sens de l'axe ; on voit que la boîte à feu est fermée de tous côtés excepté au fond où se trouve la grille et à la paroi placée contre la chaudière ; celle-ci, destinée à recevoir les tubes, est percée d'un certain nombre de trous circulaires.

Entre les deux enveloppes est un espace de 0^{m},06 à 0^{m},10 environ, destiné à recevoir de l'eau qui s'échauffe par le rayonnement immédiat du combustible.

L'enveloppe extérieure est en tôle de 0^{m},0065 d'épaisseur environ ; la boîte intérieure est faite de feuilles de cuivre, plus épaisses à cause de la haute température à laquelle elle doit résister ; son épaisseur peut aller jusqu'à 0^{m},015, et la paroi qui reçoit les tubes a une épaisseur double ; cette grande épaisseur n'existe que dans la partie même où s'adaptent les tubes, tandis que la partie inférieure n'a guère que l'épaisseur des parois latérales de la boîte à feu ; cela est motivé par la grande quantité de trous qui l'affaiblit, et aussi parce qu'elle reçoit l'impression directe de la flamme qui y est entraînée par le tirage.

Nous avons établi dans la première partie que le mouvement de la machine a lieu en vertu de la pression de vapeur qui s'exerce sur les pistons ; cette pression qui existe d'abord dans

la chaudière s'exerce naturellement aussi sur toutes les parois. Et comme les machines locomotives sont à haute pression à cause de la grande force et de la simplicité dont on a besoin, chaque paroi est soumise à une pression considérable dont on peut se rendre compte par le calcul suivant :

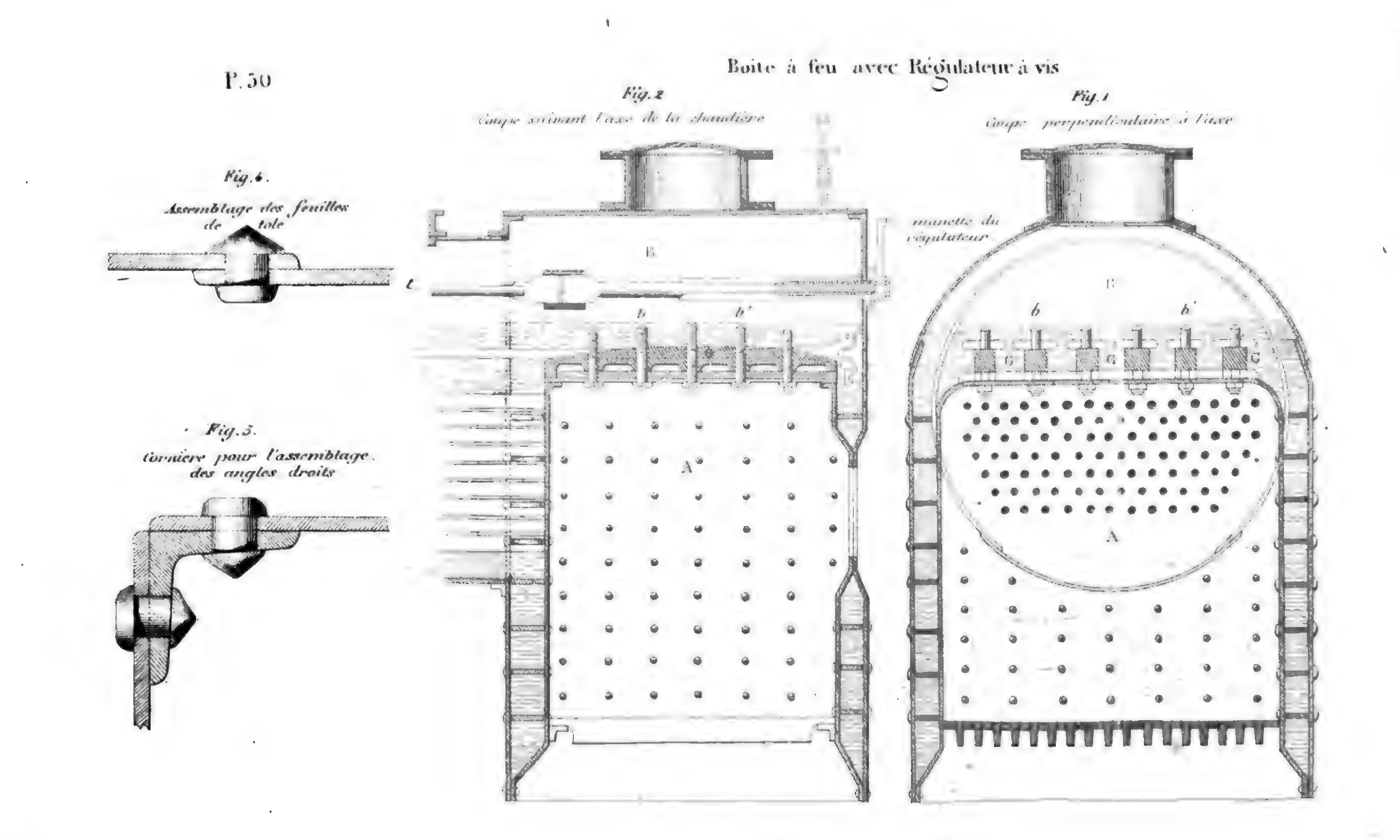
La pression effective [1] adoptée généralement dans les locomotives est de 60 livres par pouce quarré (mesures anglaises), ou 4k,38 par centim. quarré ou 43,800 kilog. par mètre quarré, ce qui équivaut à 4 atmosphères 25.

En calculant sur cette base, on verra que généralement dans les machines locomotives, la surface intérieure de la boîte à feu étant de 3 m.q,30, la pression qu'elle supporte est de 144,540 kilog. La pression de la vapeur s'exerce encore sur l'enveloppe extérieure de la boîte à feu dont la surface est de 5 à 6 mètres carrés, et est soumise à une pression de 245,000 kilog.; sur la partie cylindrique de la chaudière et sur les tubes : les premières sont de 230,000 kilog. sur 5,25 mètres superficiels; et les secondes, de 1,750,000 kilog. sur 40 mètres superficiels.

On voit à quelle pression énorme sont soumises les parois des chaudières où la vapeur est engendrée à haute pression; c'est pour cela que les chaudières des machines fixes sont cylindriques; elles sont ainsi dans les meilleures conditions de résistance; mais dans les machines locomotives, la nécessité d'obtenir de grandes surfaces de chauffe dans un petit volume, de réduire la quantité d'eau et l'espace destiné à servir de réservoir de vapeur, a forcé de renoncer pour certaines parties de la chaudière aux formes cylindriques. On a donc été obligé d'employer des dispositions dans lesquelles les parois sont planes, et par conséquent dont la déformation aurait facilement lieu sous l'influence de la pression.

Il est alors nécessaire d'assurer ces dernières de manière à ce qu'elles résistent à ces pressions élevées. A cet effet, les parois latérales de la boîte intérieure et de la boîte extérieure sont liées entre elles et résistent aux déformations et aux ruptures par des entretoises; elles sont rarement en fer, mais presque toujours en

[1] C'est-à-dire au-dessus de la pression atmosphérique.


P. 30
Boite à feu avec Régulateur à vis
Fig. 2
Coupe suivant l'axe de la chaudière
Fig. 1
Coupe perpendiculaire à l'axe
manette du régulateur
Fig. 4.
Assemblage des feuilles de tole
Fig. 3.
Cornière pour l'assemblage des angles droits
E
A
b
b'
t
C

cuivre rouge qui offre, il est vrai, moins de ténacité, mais qui résiste mieux à l'oxidation et offre par-là plus de chances de durée; elles sont taraudées sur toute leur longueur, et rivées ou boulonnées à leurs parties extrêmes, les têtes s'opposent à l'écartement et les pas de vis s'opposent au rapprochement. On arrive au même but en employant des boulons passant au centre de douilles en fer creux, en fonte ou en cuivre (fig. 3). La paroi extérieure de l'avant au-dessus de la boîte à feu est reliée par des tirants à la paroi opposée de la boîte à fumée. Ces tirans ont besoin d'être assez nombreux pour agir sur toute la longueur de la chaudière; mais on les réduit facilement à trois en rivant avec la paroi de la chaudière une forte barre de fer d'angle placée horizontalement et en dedans à la hauteur des tirans; l'effet de cette cornière est d'augmenter considérablement la raideur de la tôle qui n'a plus besoin alors que d'être soutenue par quelques points.

La paroi supérieure de la boîte à feu qui est plane comme les parois latérales et qui n'a pas l'avantage, comme elle, d'être reliée aux parois opposées, est rendue inflexible à l'aide de barres de fonte ou de fortes cornières G, au nombre de 6 à 8, reliées par des boulons *b b'* (fig. 1, 2, 3): on voit donc que toutes les parois planes sont reliées par de fortes armatures qui leur permettent de résister aux efforts de traction et de pression avec autant d'efficacité que les surfaces cylindriques.

Les parois de la chaudière dans lesquelles s'assemblent les tubes sont quelquefois retenues l'une à l'autre par une rangée de boulons placée parallèlement aux tubes. Mais elle n'existe dans aucune des machines du chemin de fer de Saint-Germain; il y a seulement à la partie inférieure de quelques-unes, un ou deux boulons; les assemblages des tubes suffisent pour résister à la traction.

La partie de la chaudière, au-dessus de la boîte à feu, est circulaire en plein cintre, et résiste par conséquent par sa forme même à la pression intérieure de la vapeur. Quelquefois on fait la boîte à feu d'une seule pièce en cuivre; d'autrefois, mais rarement, en tôle de fer d'une seule pièce, et c'est le plus mauvais sys-

tème, mais le plus souvent ce sont cinq feuilles en cuivre assemblées à rivets. Quant à la partie extérieure, les plaques de tôle qui la composent sont jointes entre elles en se recouvrant (fig. 4); dans les angles elles sont reliées à l'aide de cornières en fer laminé (fig. 5).

Souvent les raccordemens à angle droit sont formés en forgeant et en rétreignant l'une des plaques de tôle; mais il paraît difficile que ce travail n'affecte pas la solidité de la tôle, qui, en général, se prête peu au travail à chaud en conservant toute sa qualité. Il faut donc employer les cornières, quoique leur emploi soit d'un effet moins agréable à la vue, toutes les fois que la tôle n'est pas de la première qualité et confiée à des ouvriers très habiles.

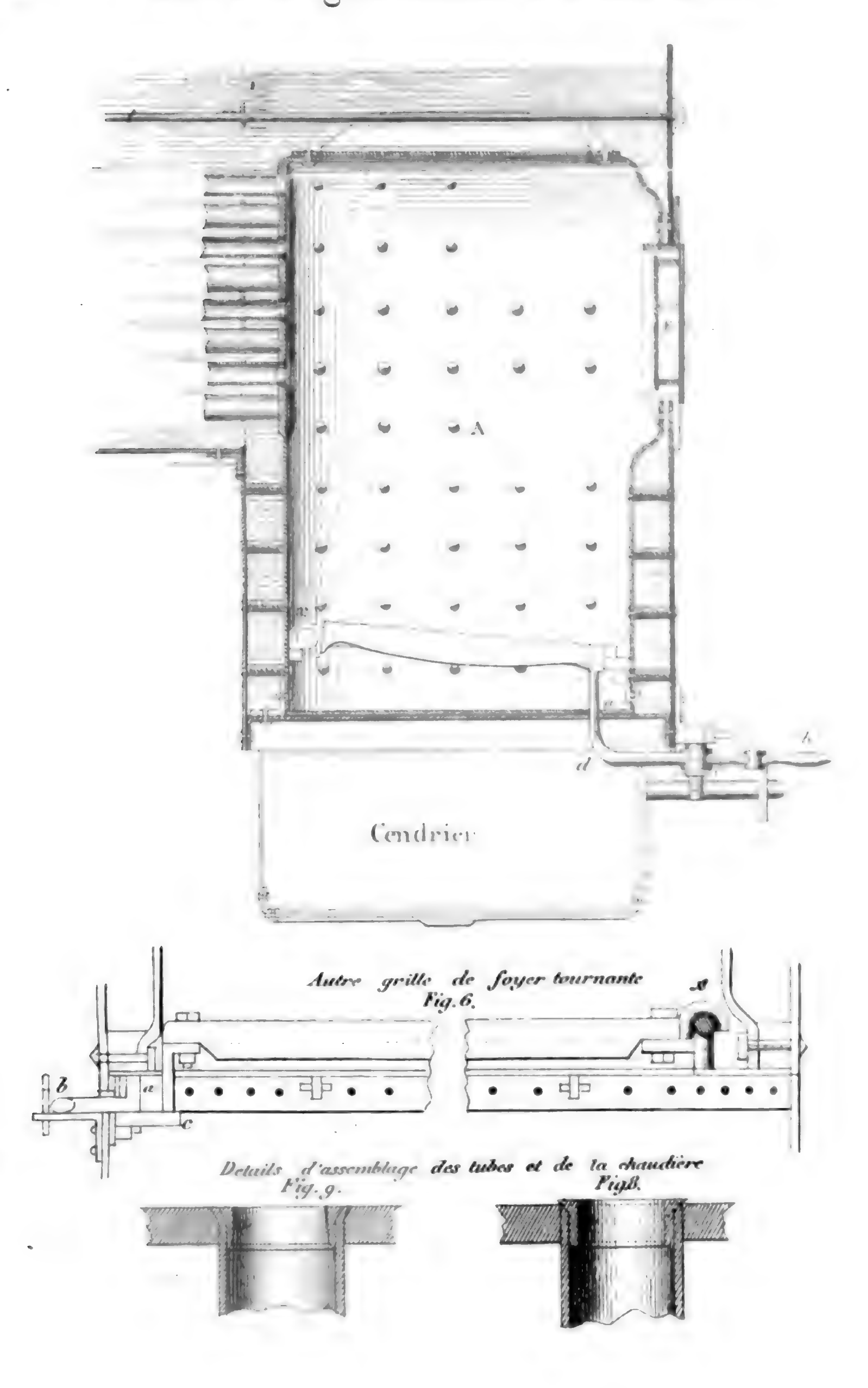
La porte du foyer destinée à charger le combustible, et qui se trouve sur l'avant, est formée de deux plaques de tôle, E (fig. 3), laissant entre elles un espace de 0 m. 05 à 0 m. 06, contenant un matelas d'air destiné à éviter la déperdition de chaleur et l'altération de la porte.

On a essayé de faire la boîte à feu intérieure en tôle, comme nous l'avons dit, mais la prompte usure et la main d'œuvre qu'exige son remplacement y ont fait renoncer, et l'on a adopté le cuivre, qui est, pour ainsi dire, plus économique, malgré son prix élevé, à cause de la durée.

18. Des grilles.— La grille du foyer est composée de 12 à 15 barres de fer de 0 m. 06 à 0 m. 07 de hauteur environ; leurs extrémités sont plus larges que leur milieu, afin de permettre un écartement suffisant pour le passage de l'air qui vient alimenter le foyer. Cet écartement est aussi nécessaire pour faire tomber les scories et les escarbilles, de sorte qu'il a besoin d'être plus ou moins grand, selon la qualité du coke que l'on emploie; on sait que le bon coke liquéfie son laitier et le fait couler. Alors on peut rapprocher davantage les barreaux, ce qui fait qu'on perd moins de combustible en route, et qu'on n'a presque pas besoin de piquer son feu dans les stations.

Fig. 3.

Boite à feu avec grille tournante de la Petite Jackson



La surface de la grille est dans les machines à 4 roues de 0 m. 63 environ, et dans celles à 6 roues de 0, 97 à 1, 08.

La distance de la grille au premier rang de tubes est dans les premières de 0 m. 41, et dans les secondes de 0, 50.

En sorte que le volume de combustible que les premières peuvent contenir est de 2 hectol. 50, et celui des secondes de 5 hectol. 40.

Le combustible ne s'arrête pas exactement à la première rangée de tubes, il s'élève généralement encore au-dessus. Il faut donc ajouter environ 1/4 de la quantité de combustible que contiendrait rigoureusement le foyer, ce qui donne pour le premier volume 3 hectol. 20, et pour le second 6 hectol. 80; ce qui donne en poids, en supposant que le combustible soit du coke qui pèse 450 kilogrammes le mètre cube, pour les premières 144 kilog., et pour les secondes 270 kilog.

Or, on sait que 1 kilog. de coke contient 6500 unités de chaleur [1]; donc pour les machines à 4 roues le nombre d'unités de chaleur contenues dans le foyer est de $144 \times 6{,}500 = 936{,}000$ unités de chaleur; et pour celles à 6 roues : $270 \times 6{,}500 = 1{,}755{,}000$.

Il faut que les barreaux soient mobiles pour pouvoir changer ceux qui seraient détruits par le feu et pour pouvoir, en cas d'accident ou d'arrêt, se débarrasser du combustible incandescent.

On avait, dans plusieurs machines, adopté les grilles à bascule : on coulait ensemble les 3 ou 4 barreaux en fonte du milieu de manière à leur permettre un mouvement de rotation au moyen d'un crochet *x* (fig. 3 et 6); ils reposaient sur un levier *a c d* pouvant tourner par l'intermédiaire d'une manette *b*; quand on voulait faire tomber le combustible, on tournait le support par la tige *a c d*, et la grille s'abaissait en tournant sur le crochet *x*.

Ces grilles tournantes avaient surtout l'avantage de permettre de se débarrasser promptement du feu sans mêler au coke incan-

[1] Une unité de chaleur est la quantité de chaleur qu'il faut pour élever 1 k. d'eau d'un degré ; d'où 100 unités élèveraient 1 k. d'eau à 100 degrés ou 100 k. à un degré.

descent les barreaux en fer de la grille, ce qui est un inconvénient, d'abord parceque ces barreaux se brûlent plus vite et se détériorent, et aussi parcequ'il faut les aller rechercher quand on a déplacé la machine après le jet du feu; cependant ce moyen n'a pas été généralement adopté.

Le vide entre les barreaux des grilles dans les premières Jackson était de 0.051 et le plein de 0.025. Dans la nouvelle le vide a été considérablement diminué; il est maintenant de 0,029 et le plein de 0,025.

Quelquefois par la négligence du conducteur le niveau de l'eau baisse beaucoup dans la chaudière; alors la rapidité de la marche de la machine peut agiter l'eau de telle sorte que des parties métalliques restent à nu sous l'influence du foyer et soient bientôt brûlées. On a adopté une disposition destinée à avertir le conducteur et à prévenir cet accident; sur la partie supérieure de la boîte à feu intérieure est un petit bouchon fusible *a* (fig. 7), en sorte que quand l'épaisseur de l'eau est trop petite et quand le métal s'échauffe trop le bouchon se fond : l'eau et principalement la vapeur se précipitent sur le feu et l'éteignent.

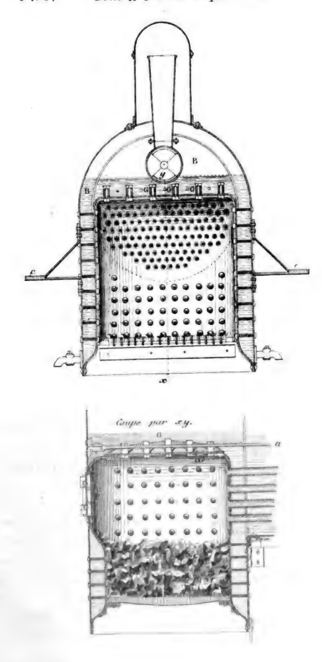
Le cendrier placé au dessous de la grille est formé de plaques de tôle; il est ouvert sur l'avant et fermé en dessous; la porte qui est placée sur le devant sert à nettoyer la grille et à retirer le combustible quand on arrête; le cendrier ne doit pas être trop bas afin de ne pas ramasser le sable relevé par les cantonniers dans les parties du chemin en réparation : dans les grandes vitesses le sable relevé par les cendriers est rejeté sur les parties en frottement du mécanisme de la machine et les salissent.

Le cendrier est ouvert du côté de la marche de la machine afin de recueillir l'air plus facilement et de favoriser le tirage en faisant affluer l'air sous la grille avec une vitesse égale à celle de la machine. On peut calculer la vitesse de l'air à son passage dans les grilles par la quantité de combustible qu'elles consomment; nous renvoyons ces calculs aux notes placées à la fin du volume.

19. Des tubes conducteurs de la fumée. — Sur la paroi

Fig. 7.

P. 54. Boite à Feu de Stephenson



de la boîte à feu située du côté de la partie cylindrique de la chaudière sont ménagés 75 à 150 trous destinés à recevoir autant de tubes (voir le tableau B de la note 2 donnant le nombre de tubes pour un certain nombre de machines locomotives). Ces tubes, que l'on avait fait jusqu'à présent en cuivre rouge et que M. Stephenson a fait avec avantage en laiton, servent à donner communication du foyer à la cheminée et à permettre l'écoulement de l'air chaud, et en général des gaz qui naissent de la combustion. Ces tubes entrent à frottement doux dans des trous ménagés pour les recevoir, et qui, à cet effet, sont exactement cylindriques (fig. 8); ils sont taillés en chanfrein du côté du foyer, et pour rendre les joints bien étanches on chasse à coup de masse une virole en acier; chez quelques constructeurs, ce ne sont point les tubes qui sont taillés en chanfrein comme l'indique la figure, mais bien les trous de la plaque (fig. 9). Chaque tube doit être rabattu sur le chanfrein avec un mandrin en fer exact et non avec la panne d'un marteau avant l'introduction de la virole; la panne du marteau a l'inconvénient de créer un bourrelet à l'entrée du tube. L'effet de cet assemblage n'est pas seulement d'étancher le joint par la pression latérale de la virole, mais aussi d'empêcher que les parois extrêmes de la chaudière ne cèdent à la pression intérieure de la vapeur, de sorte que chaque tube produit l'effet d'une entretoise comme celles qui relient les autres faces de la boîte à feu. Il est fâcheux que les tubes ne puissent, comme les entretoises, s'opposer au rapprochement des surfaces aussi bien qu'à leur écartement, il ne resterait rien à désirer : car c'est ce rapprochement qui presque toujours est la cause première des fuites qui se manifestent si souvent dans cette partie de la chaudière. Les viroles en fer s'usent vite et on est obligé de les remplacer souvent; l'effet le plus nuisible est celui qui provient de l'inégalité de dilatation; cet effet devient très sensible quand on éteint le feu brusquement; les tubes sortent alors quand les plaques d'assemblages rentrent, ce qui est le cas le plus général; dans tous les cas les viroles se déplacent et sortent de leur tube : or, lorsqu'elles sont en fer doux, et qu'on les renfonce à coup de masse dans les tubes,

elles s'allongent un peu en diminuant de diamètre et elles cessent alors de serrer fortement le tube contre la paroi ; si au contraire la virole est en fer dur ou en acier elle résiste mieux, conserve son diamètre et exerce une grande pression latérale qui maintient le joint plus long-temps. Le diamètre des tubes varie de 0,04 à 0,06 (voir le tableau). L'épaisseur du laiton qui les compose est de 0,002 à 0,003.

Quand on est obligé de remplacer une virole ou un tube, on fait dans la virole, avec un ciseau, une traînée droite de toute son épaisseur, et on relève dans l'intérieur les bords de cette cavité ; on peut alors la détacher du tube.

Dans les machines fixes, la surface de chauffe peut être augmentée autant que le requiert la quantité de vapeur à produire ; mais dans les machines locomotives, où il faut concilier la grande surface de chauffe avec la légèreté et le peu de volume en raison de la grande vitesse que la machine doit prendre et de la nécessité où l'on est de transporter les appareils de génération de vapeur, l'eau et le combustible, l'emploi des chaudières à tubes conduisant la flamme et la fumée à la cheminée a été adoptée à l'exclusion de tout autre système. L'application des tubes a été faite pour la première fois, par M. Marc Séguin, sur le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon. C'est à ce célèbre ingénieur qu'est due cette découverte, qui seule a permis de donner aux machines une vitesse considérable en mettant la production de vapeur en rapport avec leurs besoins.

Le diamètre des tubes n'a pu être fixé que par l'expérience : on a avantage à les faire petits, parceque dans le même espace la surface de chauffe est augmentée par le nombre des tubes ; mais d'un autre côté, quand le diamètre est trop petit, les frottemens de l'air augmentent et diminuent le tirage ; de plus la force du tirage entraîne des particules de coke et des cendres qui obstruent très vite les tubes et nuisent à l'activité du foyer.

Quel que soit d'ailleurs le diamètre des tubes, ils ont le défaut de s'engorger rapidement ; aussi est-on obligé de les nettoyer souvent à l'aide d'une tige de fer terminée par un bouquet d'étoupe ou un chiffon.

Le peu de durée des tubes en fer et la main d'œuvre qu'ils exigent pour leur remplacement les ont fait complétement abandonner. Le prix élevé des tubes en bronze et en cuivre rouge leur fait préférer les tubes en laiton, qui paraissent d'ailleurs susceptibles de plus de durée.

L'usure des tubes dépend du frottement des cendres, de leur oxidation provenant peut-être des influences électro-chimiques. Ils sont très promptement détruits à la partie où ils s'assemblent avec les parois du foyer.

Lorsqu'un tube est percé, soit par le frottement, soit par la vétusté, soit par la pression de la vapeur, on en est averti aussitôt, parceque l'eau s'échappe et vient jusque sur le feu qu'elle éteint. Le remplacement du tube percé n'est pas immédiatement nécessaire ; on se contente de boucher l'orifice du côté du foyer avec un tampon en bois qui est préservé de la combustion du côté de la boîte à feu par l'eau que contient le tube hors d'usage. Mais lorsqu'un certain nombre de tubes ont été de cette manière percés et bouchés par des tampons, alors la section de passage de la fumée devient trop petite, la machine n'a plus assez de tirage, et les tubes doivent être remplacés par d'autres. Quand la machine travaille constamment, le remplacement des tubes devient bientôt nécessaire ; cela dépend d'ailleurs beaucoup des soins du chauffeur. Leur réduction d'épaisseur et de poids est remarquable. Quand ils sont neufs, ils pèsent environ 7 kil. 25 : par l'usure, ils sont réduits à 3 kilogrammes ; leur épaisseur est donc considérablement diminuée et une plus grande quantité de chaleur doit nécessairement passer à travers cette épaisseur moindre, en sorte qu'il arrive qu'une machine qui a fonctionné pendant quelque temps produit plus de vapeur pour une même quantité de combustible. Cet effet est altéré et pour ainsi dire détruit par la moindre conductibilité des tubes couverts par les incrustations. Ces incrustations proviennent des matières contenues dans l'eau qui sont généralement calcaires, et qui, malgré les soins que l'on prend de nettoyer la chaudière, finissent par devenir très adhé-

rentes, et conduisent très mal la chaleur. Nous avons indiqué les moyens connus de les éviter. Nous ajouterons ici qu'il est bon de supprimer un des tubes inférieurs et de fermer l'ouverture par un bouchon taraudé; cela permet de nettoyer de temps en temps cette partie de la chaudière, où s'entassent les incrustations qui se détachent des tubes. Sans cette précaution il se forme souvent en cet endroit une couche terreuse qui cause la ruine des tubes inférieurs en empêchant l'eau de les baigner entièrement.

20. De la boite a fumée. — La partie de l'avant de la machine sur laquelle vient se fixer la cheminée est en feuilles de tôle et d'une forme extérieure analogue à celle de la boîte à feu. La paroi du côté de la chaudière *k* (fig. 10 et 13) est percée d'un même nombre de trous que la paroi correspondante du foyer, et reçoit les tubes conducteurs de la fumée. Du reste, cette boîte est complétement close de tous les côtés, et une seule de ses parois supporte la pression de la vapeur; c'est celle qui reçoit les tubes. Dans la partie inférieure de cette boîte sont les deux cylindres à vapeur qui sont ainsi protégés de la déperdition de chaleur et de la condensation de la vapeur, qui seraient très considérables et donneraient une grande perte de force si les cylindres étaient refroidis par l'air extérieur. Quelquefois ces cylindres sont inclinés (fig. 11). Cette disposition est indispensable quand les quatre roues de devant sont d'un diamètre semblable; ce qui a lieu quand on veut les accoupler pour augmenter l'adhérence.

La cheminée (fig. 12), dont le diamètre était dans les machines à quatre roues de 0,32 et la hauteur de 3 m. 80 au-dessus du rail, est fixée à la boîte à fumée soit par des cornières rivées, soit par des consoles en fonte; le sommet est épanoui en entonnoir, afin de diminuer le bruit de l'échappement de la vapeur, et on le couvre, particulièrement dans le temps des moissons, d'un chapiteau en fil de métal (fer ou laiton) pour éviter le jet des petits fragmens de coke incandescent. Ce chapiteau a une forme convexe et élargie, pour ne pas obstruer le passage de l'air et des produits de la combustion. Pour les machines à six roues, le diamètre de la

Fig. 10.

Boite à Fumée de Stephenson

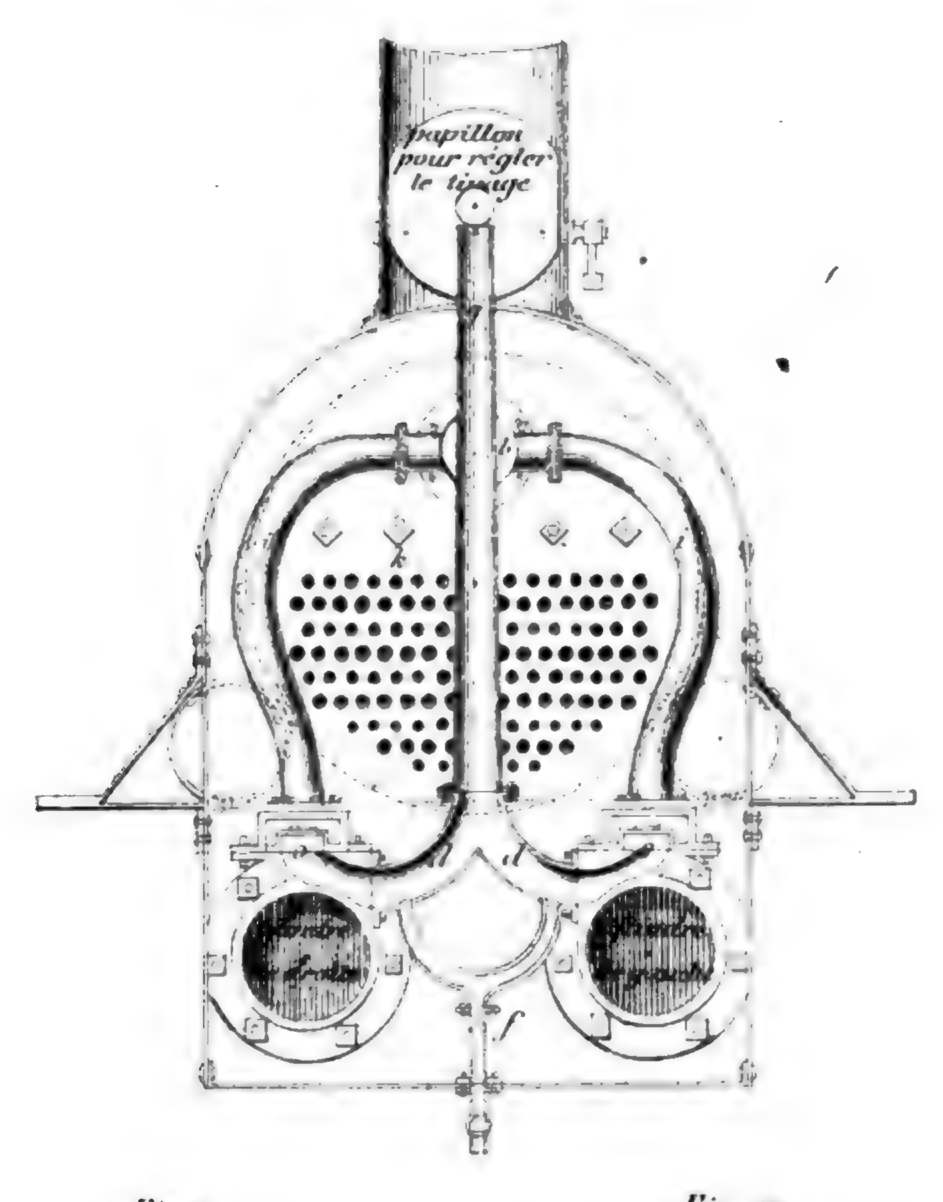


Fig. 11.

Boite à fumée avec Cylindres inclinés

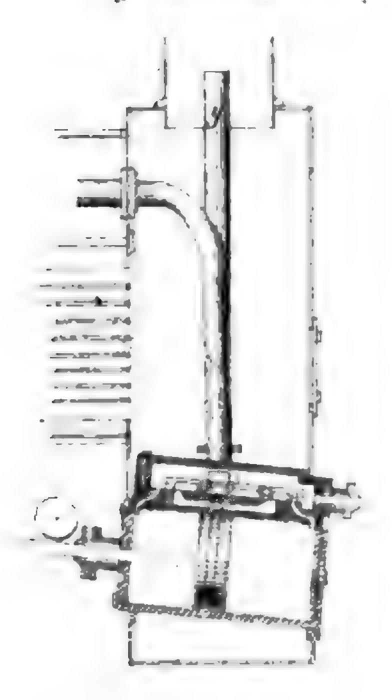


Fig. 12.

Assemblage de la Cheminée avec la boîte à fumée

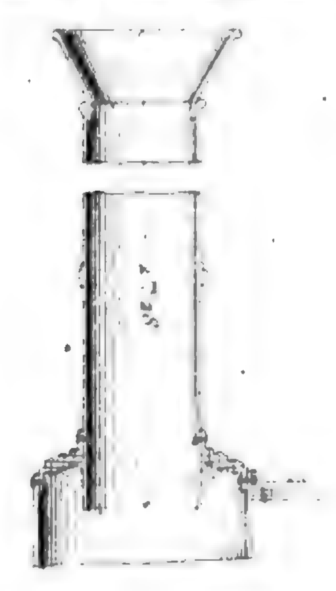
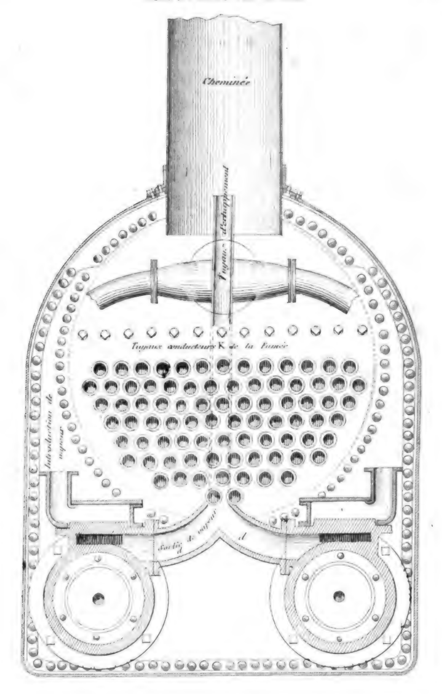


Fig. 13.

Boite a Fumée vue de Face



cheminée est de 0,35, et sa hauteur de deux mètres au-dessus de la chaudière.

La petite hauteur que l'on est forcé de donner aux cheminées de machines locomotives à cause des travaux d'art sous lesquels elles doivent passer, ne suffirait pas pour produire un tirage assez énergique pour la production de vapeur nécessaire. On a donc été obligé de l'augmenter par des moyens artificiels; les moyens mécaniques tels que la ventilation ou l'insufflation ont été trouvés insuffisans et coûteux. On s'est arrêté à faire servir la pression de la vapeur inutile. A cet effet on l'envoie dans la cheminée pour y imprimer à l'air une vitesse qui tend à entraîner l'air chaud et la flamme à travers les tubes et à amener l'air dans le foyer à travers la grille. Le tuyau d'échappement *g* est conique (fig. 10, 11 et 13), et la contraction que la vapeur éprouve en s'échappant augmente la durée de son émission et donne un fort tirage; on augmente ainsi la production de vapeur; mais d'un autre côté la pression de la vapeur ainsi conservée pour créer le tirage agissant en sens contraire du mouvement du piston, tend à diminuer la puissance motrice, et cette perte de puissance devient, dans les grandes vitesses, assez notable: mais il était nécessaire d'employer une partie de la force motrice pour produire le tirage, et ce tuyau d'échappement est évidemment le moyen le plus simple, le plus facile et le plus énergique. Il reste à savoir seulement si dans les grandes vitesses on ne pourrait pas augmenter l'orifice d'échappement sans nuire à l'activité du tirage; on arriverait alors à diminuer la durée de la pression qui s'exerce contre le piston. C'est une question importante à résoudre, et pour laquelle il serait utile de faire une suite d'expériences.

La grande porte qui se trouve sur l'arrière de la boîte à fumée est destinée à permettre l'accès aux cylindres et aux tubes pour les visiter et les nettoyer. Au-dessous est une porte plus petite pour ôter les cendres et les escarbilles qui peuvent se réunir à la partie inférieure.

21. Du registre. — Un conducteur de machines locomotives

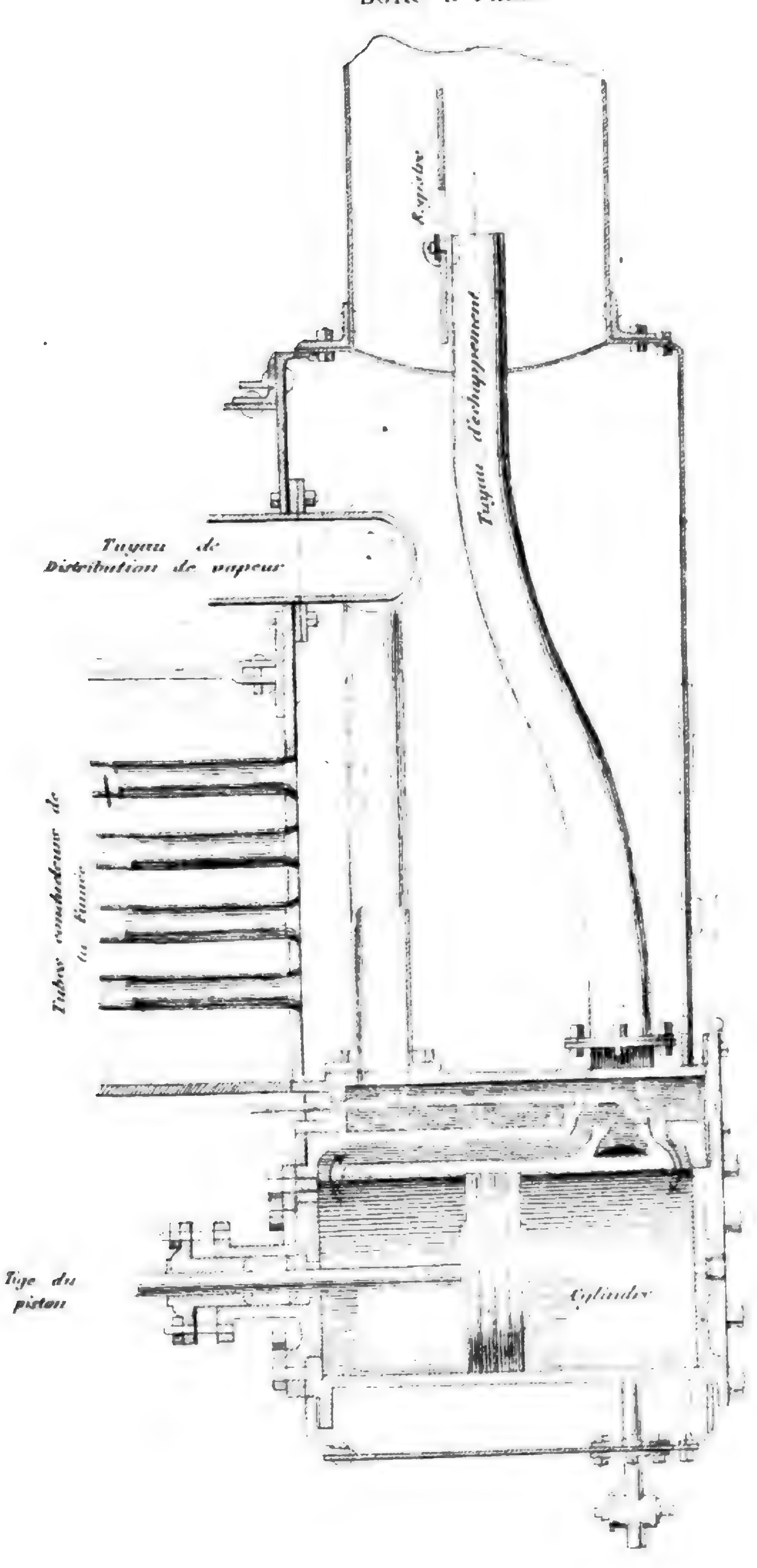
doit toujours être maître de son feu, indépendamment de la quantité de combustible qui se trouve sur la grille. A cet effet, on ménage dans l'intérieur de la cheminée une plaque presque circulaire en tôle, dite *papillon* mobile (fig. 10 et 14), autour d'un axe dont la position permet au tuyau d'échappement de passer par une ouverture circulaire ménagée à cet effet au centre du papillon. L'axe est en fer plat, boulonné aux ailes et terminé par deux parties cylindriques s'appuyant et tournant sur les parois de la cheminée, et portant une petite manivelle qui, au moyen d'une tringle reposant sur une fourche, est mise en mouvement par le mécanicien. La tige de communication est terminée par trois crans qui indiquent les diverses positions du registre. Cette manière de régler le tirage, outre les avantages de simplicité et d'efficacité, est encore utile quand on jette le feu, parcequ'il se forme un courant d'air froid extérieur qui s'introduit par l'effet de la raréfaction de celui qui est en contact avec les parties échauffées de la chaudière et qui faisant brusquement changer la température des parties métalliques, les contracte fortement et les détériore.

Il est bon de ne pas oublier que quand le registre est levé, la vapeur n'est pas visible à cause de la grande quantité d'air chaud qui l'absorbe; quand il est baissé, la vapeur sort en bouffées denses et épaisses.

On a imaginé de régler le tirage de plusieurs autres manières. D'abord on se contentera, pour modérer l'activité du foyer, d'introduire dans la cheminée de l'air froid en ouvrant à volonté, et à l'aide d'une manette à la portée du conducteur, les portes de fumée destinées au nettoyage. Mais cela est un mauvais moyen, parceque le tirage est diminué à un tel degré que le foyer en est presque éteint, la quantité d'air froid introduite étant trop considérable. En outre, ce moyen a l'inconvénient de faire varier brusquement la température des feuilles de métal de cette partie de la chaudière, qui, sous cette influence, se tourmentent et se détériorent.

On s'est encore servi à cet effet de la petite portière placée à la partie inférieure de la boite à fumée et destinée spécialement

Fig. 14.
Boite à Fumée



à vider les cendres, mais qui peut ainsi servir de registre et que l'on ouvre plus ou moins, suivant le tirage qu'on veut obtenir. Mais cette ouverture, placée trop bas, à l'inconvénient d'entraîner dans le mouvement ascensionnel de l'air les cendres et les résidus du foyer qui au sortir des tubes sont lancés par la cheminée avec violence, salissent la machine et gênent les voyageurs.

On a évité ce dernier inconvénient en plaçant au-dessus de la porte de la boîte à fumée une cocarde à ailettes mobiles, telles qu'on les emploie généralement pour la ventilation. Cette cocarde offre une communication entre l'air extérieur et la boîte à fumée; la section de passage de l'air peut d'ailleurs être diminuée à volonté. Ce dernier moyen est supérieur à celui qui consiste à ouvrir la porte du foyer, parceque la quantité d'air froid introduite dans ce dernier cas au dessus du combustible, tout en diminuant le tirage, ne diminue pas proportionnellement la quantité de combustible brûlé, et produit un refroidissement nuisible par les contractions subites qui en résultent.

Le registre de Stephenson, que nous avons décrit en premier lieu, est bien préférable; mais le moyen qui semble devoir prévaloir à raison de son énergie et de ses bons résultats, c'est l'addition à la partie inférieure du tuyau d'échappement d'un second conduit d'échappement pris sur le premier. Ce nouveau conduit, qui débouche à l'extérieur sous la boîte aux cylindres, est muni d'un robinet pour régler la section d'échappement; et quand on veut diminuer le tirage, on laisse partir une partie de la vapeur par ce conduit. Or, comme l'énergie du tirage est surtout produite par le jet de vapeur sortant du conduit d'échappement dans la cheminée; quand une partie de la vapeur inutile s'échappe au-dehors, le volume ne changeant pas et étant réparti sur deux sections, la quantité de vapeur qui s'échappe par la cheminée et par conséquent la durée d'échappement et le tirage sont diminués. Cela a en outre l'avantage de diminuer la pression à l'arrière du piston, pression qui se manifeste toujours à un assez haut degré, en raison de la dimi-

nution de section qu'on fait subir au tuyau d'échappement pour augmenter la durée de l'émission. Il va sans dire que c'est par le jeu seul du robinet inférieur, qui est à sa portée, que le mécanicien peut régler son tirage.

22. De la chaudière et de ses accessoires. — Les vues générales des machines locomotives et les coupes (fig. *a* et *b*) indiquent suffisamment la construction de la chaudière. Elle est en tôle forte comme l'enveloppe de la boîte à feu et assemblée de la même manière. Elle est traversée par les tubes suivant toute sa longueur, et contient de l'eau jusqu'à une distance de 0, 30 du sommet dans les anciennes machines, et jusqu'à la distance de 0, 35 dans les nouvelles. Le volume d'eau contenu dans les premières chaudières était de 1,220 litres; dans les nouvelles machines à 6 roues, il est de 1,980 litres. Le volume de la chambre de vapeur était, pour les premières, de 0 m. c. 63, et pour les secondes de 0 m. c. 78. Le volume total de la chaudière est donc, dans les anciennes, de 1 m. c. 85, et dans les nouvelles de 2 m. c. 75. On voit que la chambre de vapeur est environ la moitié de la capacité qui contient l'eau. La partie de l'eau qui environne les parois verticales et la paroi horizontale supérieure reçoit l'impression immédiate du feu, la partie de l'eau qui enveloppe les tubes ne reçoit que le calorique qui lui est apporté par la flamme et les gaz chauds, entraînés vers la cheminée par le tirage. Comme nous l'avons déjà dit, cette eau s'échauffe rapidement et des courans s'établissent dans toute la masse, en sorte que l'eau échauffée par le contact est remplacée par de nouvelles couches, jusqu'à ce que la température s'établisse presque également partout; mais cet effet n'est pas assez complet pour qu'il n'y ait pas toujours une plus haute température à cette partie de la chaudière, en contact immédiat avec le combustible. La partie cylindrique est enfermée dans une chemise en bois, conduisant mal le calorique, et qui est destinée à éviter la déperdition de chaleur. Cette enveloppe est consolidée par des cercles en fer boulonnés aux extrémités. La surface de chauffe communiquant

Fig. 15.

Ensemble des accessoires de la Chaudière

Cheminée

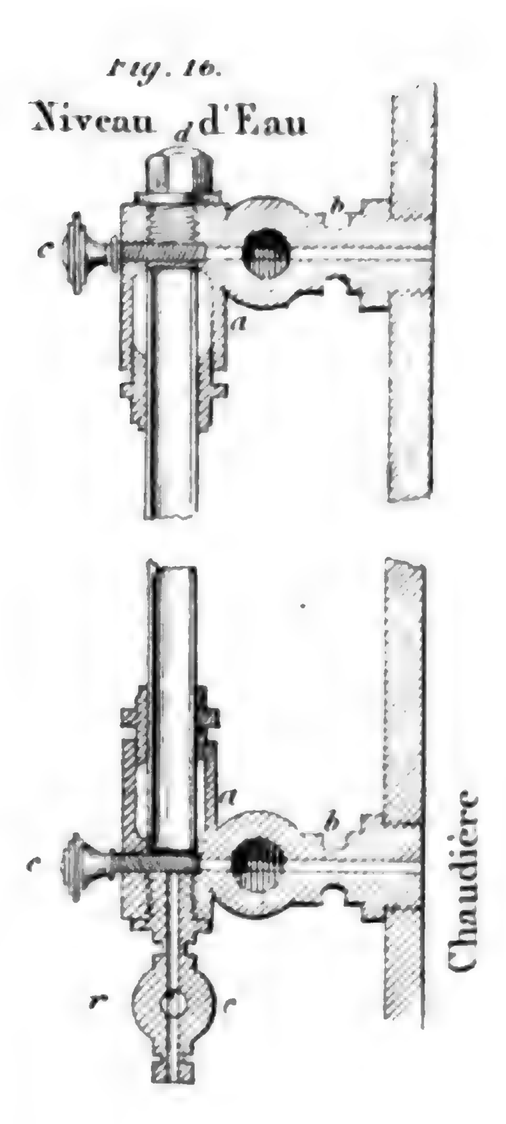
Trou d'homme

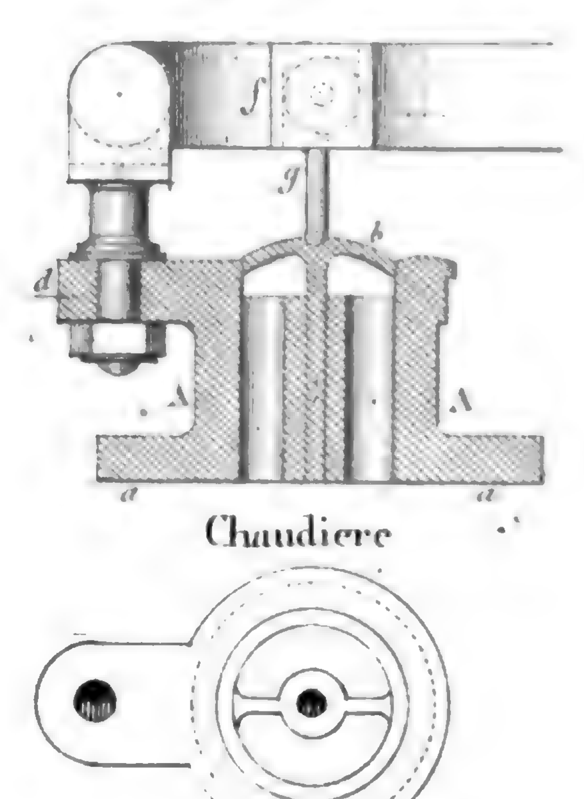
Soupape de sureté fixe

Soupape variable

Sifflet

Chaudière





l'action directe du feu à l'eau est en moyenne de 3 m. c. 30, dans les petites machines, et de 5 m. c. 30 dans les grandes, et la surface des tubes est pour l'une de 25 m., et de 59 m. pour l'autre. En supposant, d'après Stephenson, que la chaleur qui passe par les tubes n'est que le tiers de celle qui passe par les surfaces exposées directement au feu, et réduisant les surfaces d'après cette proportion, on aurait pour les premières 11 m. q. 60, et pour les dernières 22 m. de surface de chauffe réduite.

A la chaudière sont annexés divers appareils ; les uns servent à indiquer le niveau de l'eau dans la chaudière, ce sont les robinets et l'indicateur d'eau ; les autres servent à indiquer la pression de vapeur et à la régler, ce sont les soupapes de sûreté A et B ; d'autres servent à nettoyer et visiter la chaudière, ce sont les robinets et le trou d'homme C ; enfin d'autres servent à remplacer l'eau réduite en vapeur, ce sont les pompes, que nous examinerons à part. La figure 15 indique une partie de ces appareils qui sont placés au sommet de la chaudière.

23. De l'indicateur d'eau.—L'indicateur d'eau (fig. 16) placé sur la paroi en avant est un tube en verre d'une forte épaisseur fixé dans des douilles en bronze au sommet et au bas *a*, *a*. Pour rendre les joints bien étanches, on met entre les manchons ou douilles et le tube de verre de l'étoupe chargée de mastic de minium qu'on serre fortement contre les deux parois du verre et de la douille par un manchon intérieur et concentrique, vissé sur les socs en bronze en forme de stuffing-box.

De chacune de ces pièces partent des tubes métalliques *b*, *b*, munis de robinets au milieu, et taraudés à leur extrémité qui viennent se visser au flanc de la chaudière, l'un dans le réservoir de vapeur, l'autre dans la partie qui contient l'eau, de manière que le tube se trouve dans les mêmes conditions que la chaudière elle-même. A l'extrémité inférieure, une partie métallique vissée à la douille *a* est munie d'un robinet qui sert à vider le tube de verre ; la vis supérieure *d* sert à nettoyer le robinet quand il est bouché.

Les tuyaux *b*, *b* communiquent avec l'intérieur de la chau-

dière; quand on ouvre les robinets inférieur et supérieur, l'eau monte dans le tube a un niveau égal à celui de la chaudière, et sert d'indice au mécanicien pour l'alimentation de l'eau. Les robinets servent a arrêter la communication du niveau à la chaudière, dans le cas où le tube se brise ou quand il est hors de service. Le robinet *r* permet de nettoyer le tube en y faisant passer un courant d'eau. Il sert aussi à se débarrasser des bulles de vapeur qui par la rapide ébullition de l'eau pourraient tromper sur le véritable niveau. Le petit canal de communication doit avoir une petite section afin d'atténuer les oscillations que produit sur l'eau le mouvement rapide de la machine. Les deux petits boulons *c*, *c* taraudés servent, comme nous l'avons dit, à nettoyer et à déboucher les tuyaux *b*, au moyen d'un fil d'archal, quand ils sont obstrués par les dépôts.

La connaissance exacte du niveau de l'eau dans la chaudière est tellement importante au conducteur que l'on a mis encore à sa disposition un autre moyen de s'en assurer. Ce sont deux ou trois robinets placés à diverses hauteurs dans les positions voisines du niveau que doit conserver habituellement l'eau dans la chaudière.

Le chauffeur doit connaître par expérience les robinets qui doivent donner de la vapeur et ceux qui doivent donner de l'eau, et les consulter souvent pour éviter de brûler la partie supérieure du foyer, ce qui arriverait infailliblement si l'épaisseur de l'eau qui la recouvre était trop petite. Le bouchon fusible réparerait d'ailleurs en partie sa négligence, mais si cela arrivait en route on se trouverait dans l'impossibilité de terminer le trajet.

24. Des soupapes de sureté, trou d'homme, robinets de vidange. — Les soupapes de sûreté sont toujours au nombre de deux : quelquefois toutes les deux sont variables et à ressort ou à levier; quelquefois l'une est variable, l'autre est fixée à une certaine limite et mise hors de la portée du chauffeur. Ces soupapes se placent à différentes parties de la chaudière; la place qu'elles occupent est presque indifférente. La soupape à levier repose

Fig. 18.

Soupape de sureté Variable

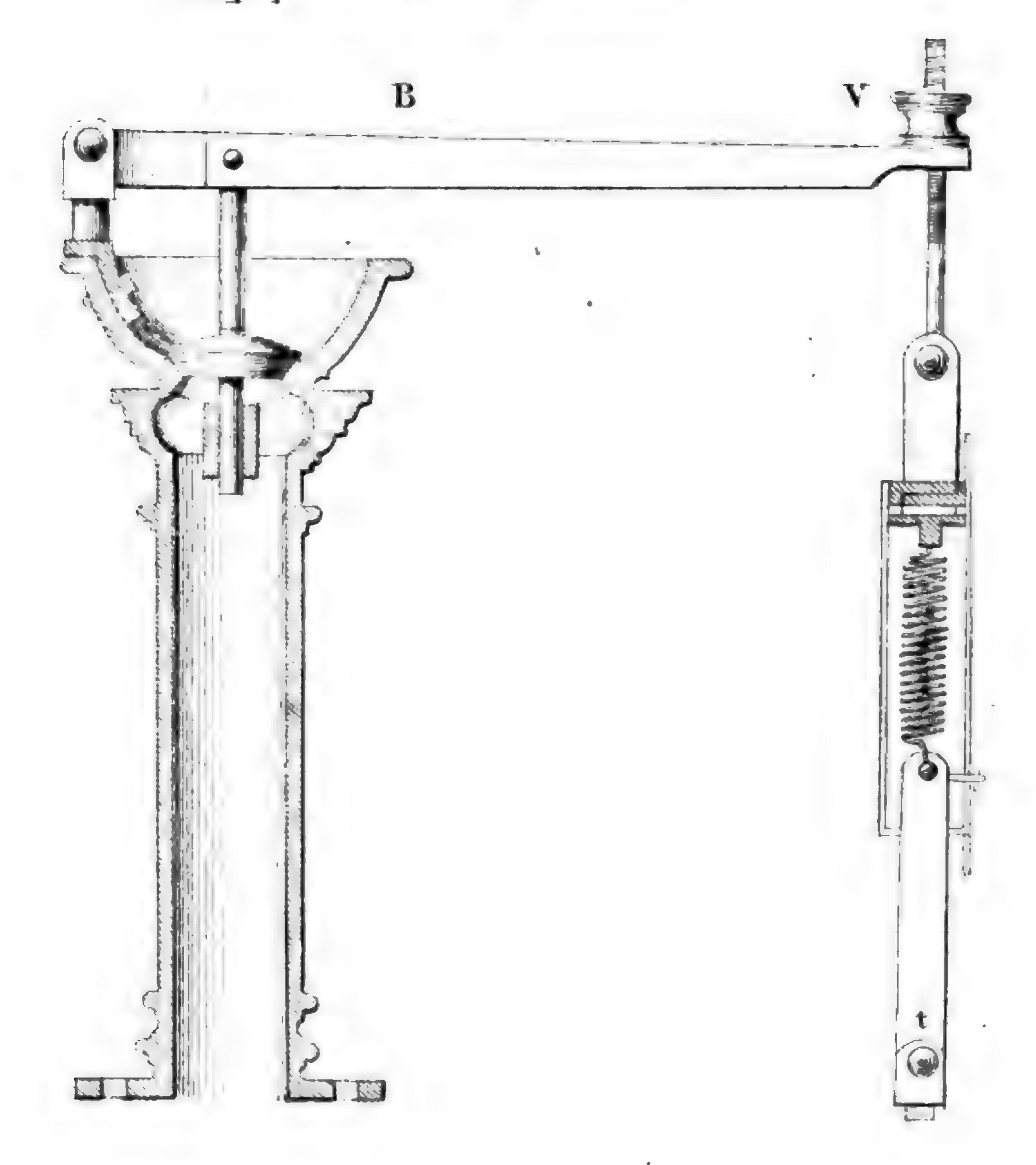
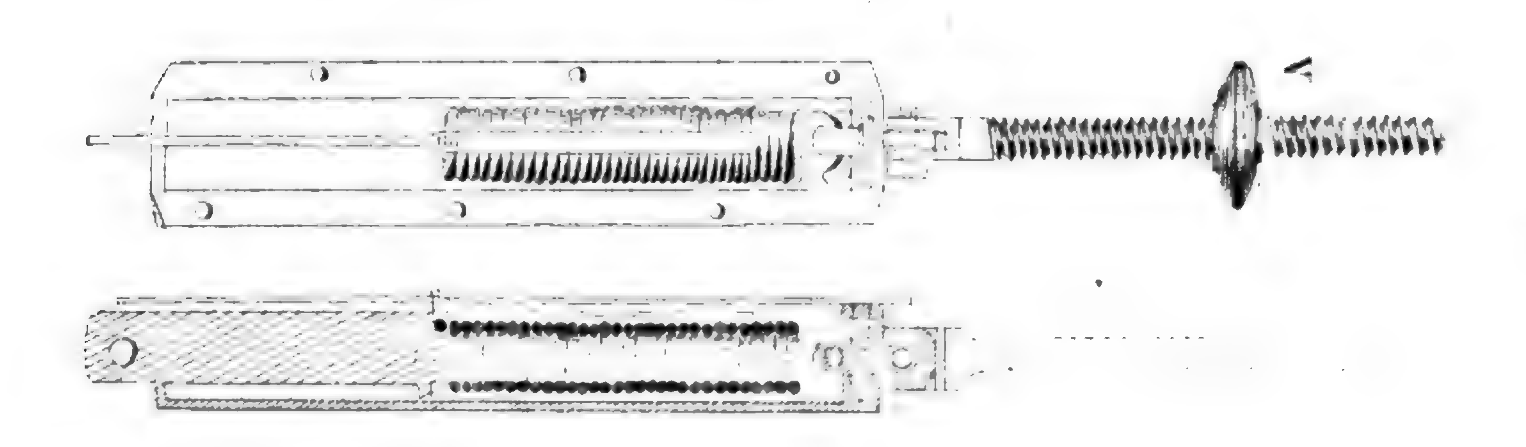


Fig. 19.

Ressort à Boudin



sur un petit socle A, A (fig. 17), placé sur le sommet de la chaudière et boulonné aux oreilles *a*, en cuivre; le clapet *b* est en bronze et chanfriné sur les bords; il est guidé par une tige qui entre dans un manchon central faisant partie de la chaudière ou du soc. Elle ne doit pas laisser passer la vapeur quand la pression qu'elle supporte extérieurement et qui est réglée à l'avance est égale à la pression intérieure de la vapeur. Nous donnons dans les notes les dimensions des soupapes de plusieurs machines. L'oreille *d* reçoit un petit support *e*, fourchu au sommet, sur lequel vient s'articuler le levier *f* servant à opérer la pression de la soupape par l'intermédiaire de la tige articulée *g*.

L'autre extrémité du levier est terminée par une partie plate qui entoure une tige au-dessous de la virole V (fig. 18), et fait éprouver une pression à un ressort contenu dans une boîte, dont le dessin fait suffisamment comprendre la forme. Cette boite en métal ayant d'un côté une paroi droite, de l'autre une paroi circulaire, est fixée sur la chaudière au moyen d'un boulon *t*. La figure 18 et la figure 19 donnent la vue générale de ce ressort. La résistance due a l'élasticité du ressort, trouvée par l'expérience, multipliée par le grand levier, et divisée par le petit, en tenant compte du poids du levier *B*, donne la pression de vapeur sur la soupape, dans le cas ou il y a équilibre entre les deux pressions extérieure et intérieure. Dans les machines fixes, au lieu d'employer une balance à ressort, on se sert d'un poids mobile qui, placé à diverses positions, augmente ou diminue la pression sur la soupape: mais ce moyen était impraticable dans les machines locomotives, en raison de leur vitesse et des vibrations qui auraient fait varier la position du contre-poids. Les soupapes de sûreté donnent des causes d'erreur, d'abord en raison de la variation d'élasticité du ressort qui peut se forcer peu-à-peu, ensuite à cause de la surface sur laquelle la soupape repose, et qui augmente la surface résistante au moment où la vapeur sort par les orifices; enfin une cause grave d'erreur, c'est que les constructeurs en graduant les balances négligent de tenir compte du poids du levier et de celui du clapet. Il est bon

de vérifier leur exactitude au moyen d'un manomètre qu'on fixe momentanément à la chaudière.

La soupape fixe et à ressort *f* a une construction différente de la précédente; elle est fermée dans une boîte hors de la portée du mécanicien, qui ne peut ainsi augmenter la pression. La figure 20 en donne une idée suffisante.

Pour nettoyer la chaudière on donne l'écoulement à l'eau au moyen de deux robinets placés au bas des parois de l'enveloppe de la boîte à feu; sur le sommet de la chaudière est ménagé un trou de C o m. 45 à o m. 50 (fig. 15), par lequel un homme peut s'introduire dans la chaudière, soit pour visiter les tubes, soit pour nettoyer ou pour faire des réparations. Cette ouverture, qu'on appelle le trou d'homme, est fermée par un couvercle boulonné, à oreilles et affectant une forme courbe pour offrir de la résistance à la vapeur.

Sur l'enveloppe extérieure de la boîte à feu sont deux trous qu'on peut ouvrir à volonté quand on veut nettoyer la chaudière et la débarrasser du sédiment qu'elle pourrait contenir : quand on veut faire cette opération à froid, on dirige par ces trous un jet d'eau qui nettoie les parois; en même temps, avec une tige de fer crochue, qu'on introduit par ces ouvertures, on détache le sédiment qui n'est pas venu au premier lavage. Il est important que les ouvertures soient placées convenablement, pour que cette opération puisse se faire sur toutes les parois.

25. Du sifflet. — Au sommet de la boîte à feu est un petit appareil nommé sifflet, destiné à avertir du passage de la machine; on l'entend à une distance de 2,000 m; il est suffisamment représenté dans la fig. 21; la vapeur sort par les ouvertures *a*, et produit un sifflement en raison de l'étranglement qu'elle éprouve à sa sortie et de l'obstacle que lui oppose le petit dôme supérieur.

26. Des pompes alimentaires.— Ces pompes, fixées aux grandes traverses de la machine, servent à remplacer l'eau incessamment vaporisée dans la chaudière.

Fig. 20.

Soupape Fixe à Ressort

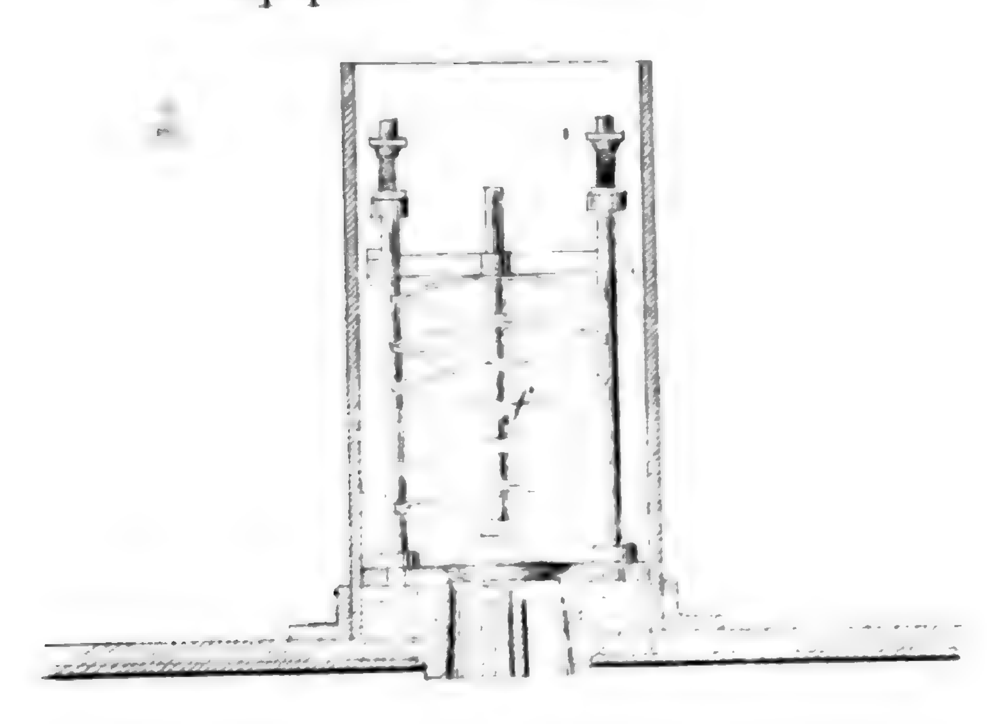
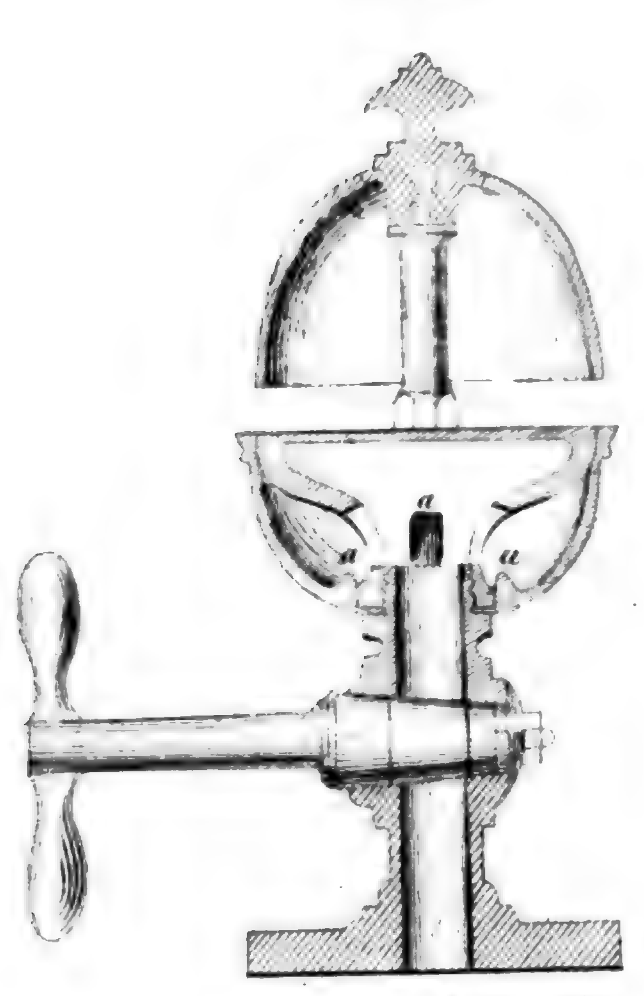
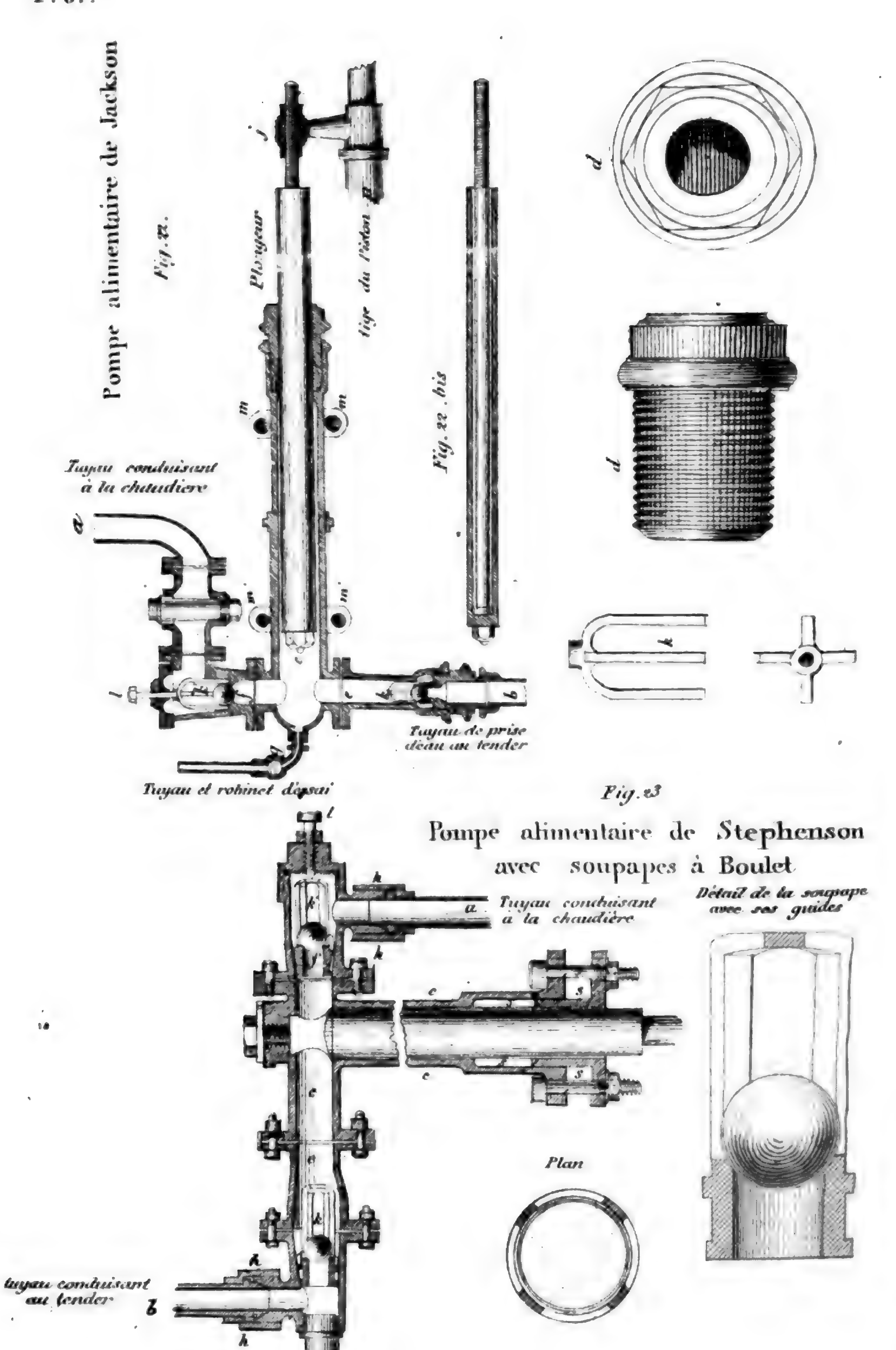


Fig. 21.

Sifflet




Pompe alimentaire de Jackson
Fig. 22.
Plongeur
tige du Piston
Fig. 22. bis
Tuyau conduisant à la chaudière
Tuyau de prise d'eau au tender
Tuyau et robinet d'essai
Fig. 23
Pompe alimentaire de Stephenson avec soupapes à Boulet
Tuyau conduisant à la chaudière
Détail de la soupape avec ses guides
Plan
tuyau conduisant au tender

Elles ont diverses formes ; la figure 22 donne la coupe de celles qu'on a employées dans les petites machines à quatre roues.

Le tuyau *b* communique avec le tender qui suit la machine ; le tuyau *a* conduit l'eau à la chaudière ; dans le corps de pompe se meut un piston plongeur dont la coupe est donnée dans la fig. 22 bis ; c'est un cylindre creux en cuivre ou en fer tourné dans lequel entre une tige en fer taraudée à l'extrémité, destinée à recevoir une pièce creuse formant écrou qui l'assemble avec la tige du piston *p* ; la pièce *j* n'est pas taraudée, mais il y a un écrou mobile de chaque côté ; c'est à l'aide de ces écrous qu'on fixe la longueur du piston de manière à ce qu'il plonge jusqu'au fond du corps de pompe, sans cependant y toucher ; l'autre réunit le piston de la pompe avec le tirant intérieur. Le mouvement de va-et-vient de ce piston forme aspiration et refoulement alternativement ; l'aspiration soulève la soupape *k* et amène l'eau dans le tuyau *c* ; la compression soulève la soupape *k'*, ferme la précédente et refoule l'eau dans le tuyau *a*.

Le corps de pompe *c* en cuivre ou en fonte n'est pas alésé, parcequ'il est d'un diamètre plus grand que celui du piston, en sorte qu'on ne le rend susceptible de contenir l'eau qu'au moyen d'un stuffing-box, comme dans la figure 23, ou au moyen d'un bouchon métallique *d* taraudé et alésé comme dans la figure 22 ; à l'extrémité du corps *c* est un petit tuyau T, assemblé à vis avec lui et muni d'un robinet d'essai *g*, dont la clé communique par le moyen d'un levier à une manette, à la portée du conducteur de la machine ; il sert à reconnaître si la pompe donne de l'eau et fonctionne bien ; sur le premier corps s'assemble par un joint à bride un cylindre *e* dans lequel se meut la soupape d'aspiration, et un corps *f* dans lequel se meut la soupape de refoulement : tous ces corps sont en bronze. Avant d'arriver au corps d'ascension, on a ménagé un robinet destiné à fermer le passage de l'eau dans la chaudière quand on veut visiter les clapets : un double clapet est préférable à un robinet, en ce qu'il peut arriver que l'on oublie d'ouvrir ce dernier ; la pompe n'étant pas munie de soupape serait alors infailliblement brisée.

Les soupapes sont à boulets de cuivre tournés reposant sur une partie fraisée sphérique en bronze et dirigée dans leur mouvement par des guides à quatre branches *k k'*; la cage inférieure de l'aspiration est maintenue dans sa position par le corps lui-même; la cage supérieure est pressée et maintenue par le boulon *l*; le tuyau est muni d'un robinet avant d'arriver au tender afin que le conducteur puisse soustraire, quand il le veut, le réservoir d'eau à l'action du piston, qui, dans ce cas, se meut dans le vide. Ces deux pompes sont fixées au châssis de la machine, à l'aide d'oreilles *m* et *m'*, et sont exactement parallèles aux tiges des pistons moteurs. Cependant ce parallélisme se trouvant souvent détruit par l'usure des guides, des tiges, et des pistons, on ménage du jeu dans les points d'attache de la tige du plongeur à celle du piston.

La figure 23 donne la coupe d'une pompe alimentaire employée par Stephenson; le corps de pompe *c* est en fer creux de 0,045 de diamètre intérieur, et de 0,013 d'épaisseur.

Le piston qui se meut dans ce cylindre a 0,041; on voit donc qu'il y a un certain jeu dans le corps de pompe.

Dans cette pompe, les joints des tuyaux d'aspiration et de refoulement diffèrent de ceux que nous avons décrits. Les deux parties à joindre sont taillées en chanfrein, entrent l'une dans l'autre, et sont recouvertes par leur manchon *h* qui les serre l'une contre l'autre, en se vissant sur leur circonférence extérieure.

Les deux pompes agissent de la même manière; une seule suffirait, sans aucun doute, sans l'employer d'une manière continue, pour remplacer l'eau de la chaudière; mais la seconde est nécessaire en cas d'accident, ou quand l'autre est hors de service.

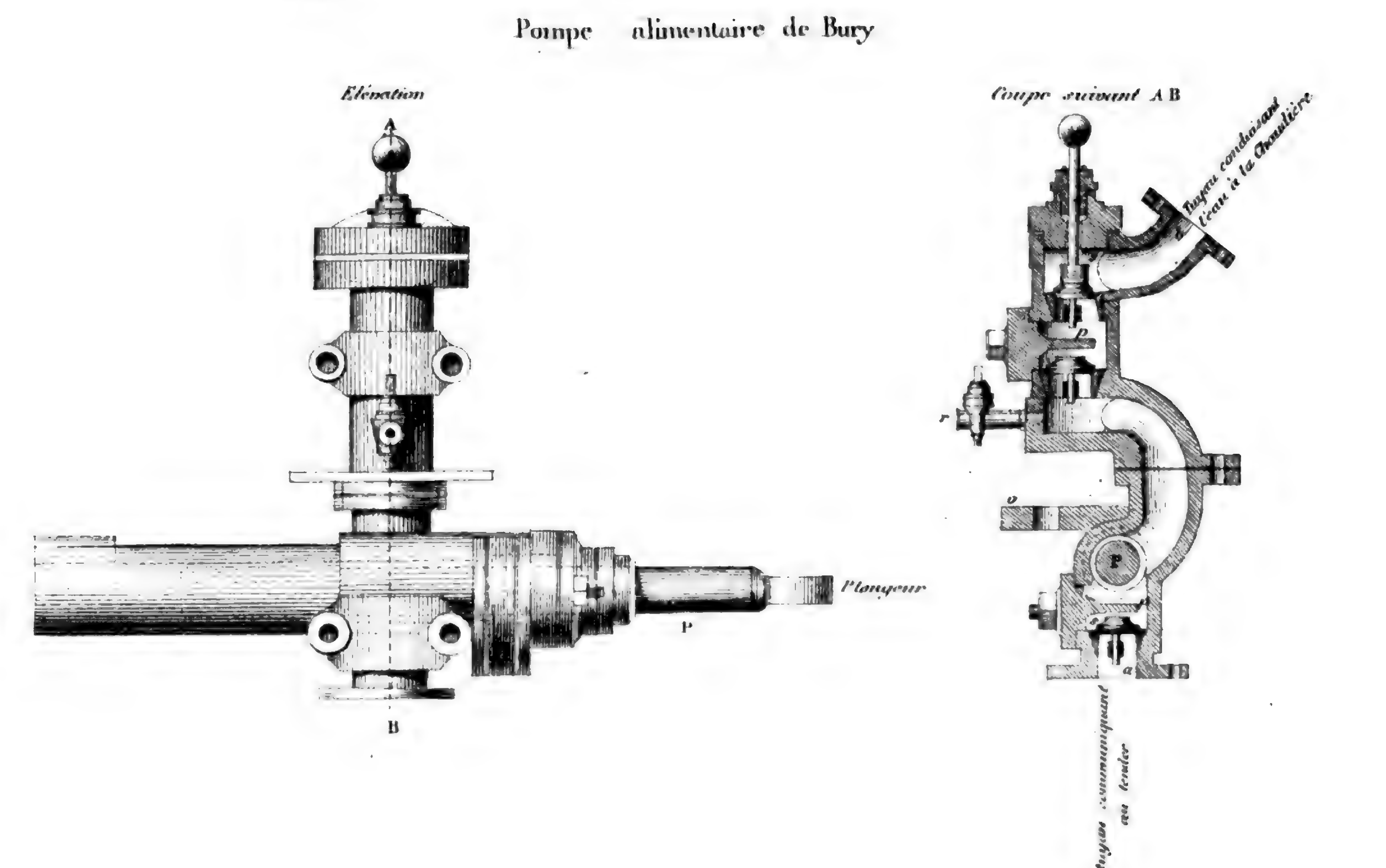
Les soupapes des pompes alimentaires sont quelquefois à clapets, de la forme S (fig. 24) au lieu d'être à boulets; la figure donne une idée de ces sortes de pompes, qui sont employées dans les machines de Bury.

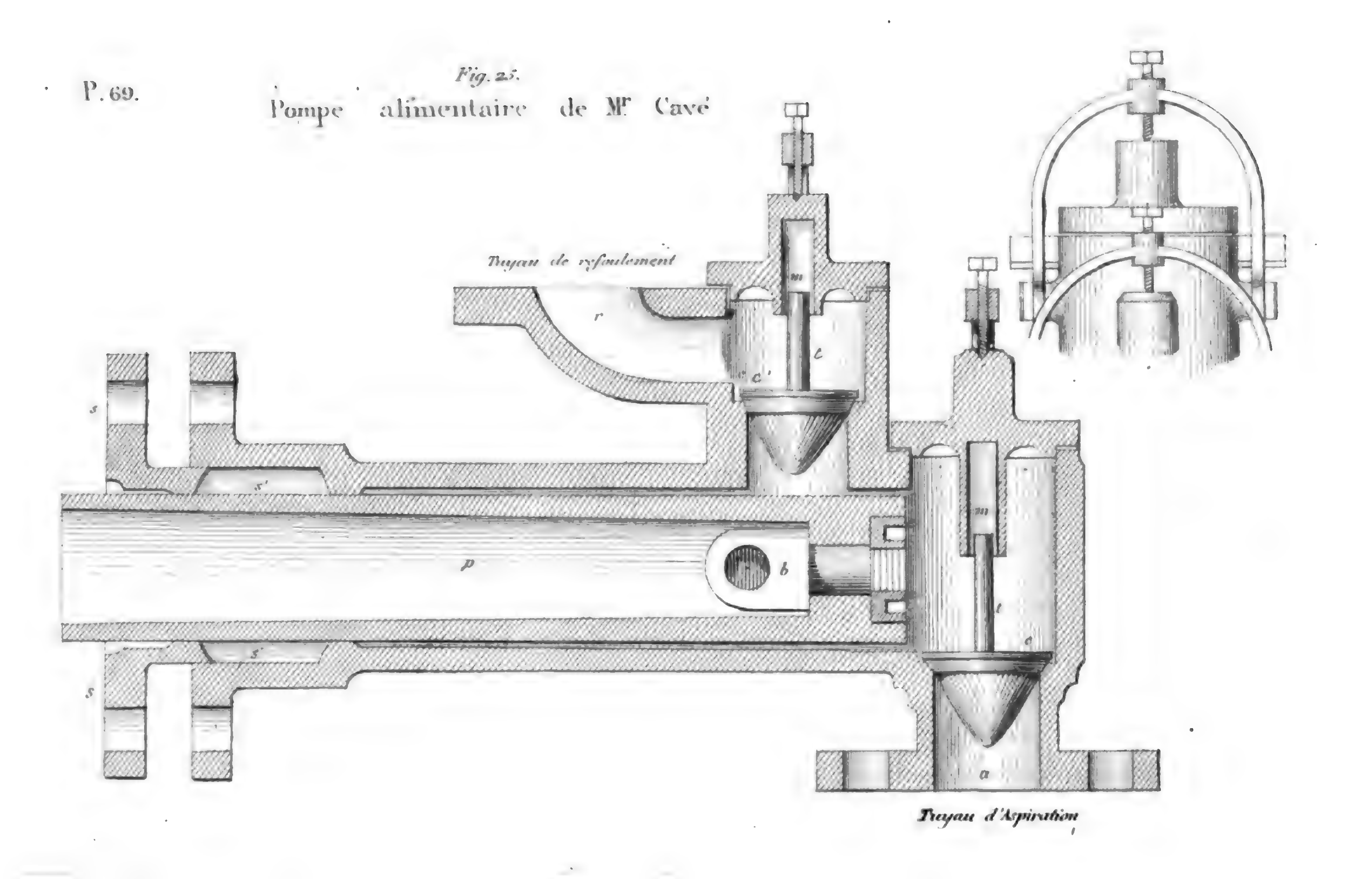
Le système complet est fixé aux grandes traverses par les oreilles *o*. Le piston P agit de la même manière que dans les autres

P. 68.

Fig. 24

Pompe alimentaire de Bury




Fig. 25.
Pompe alimentaire de Mr Cavé
Tuyau de refoulement
r
m
t
c'
m
t
c
b
p
s'
s'
s
s
a
Tuyau d'Aspiration

pompes. Les clapets sont retenus dans leur course par les plaques *p* qui les empêchent de s'élever trop haut, et les forcent de revenir à leur première position. Ces plaques sont fixées au corps de pompe à l'aide de boulons. Le robinet *r*, que le conducteur peut ouvrir ou fermer, sert à lui indiquer si les pompes fonctionnent bien. Le tuyau *a* communique avec le tender, et le tuyau *b* avec la chaudière. On voit que dans le tuyau *b* il y a deux soupapes pour rendre plus complète la séparation de la chaudière avec le corps de pompe.

Les soupapes à clapets ont l'inconvénient d'être sujettes à se déranger et ont besoin de beaucoup de réparations. Leur construction est aussi plus difficile; elles se déplacent très facilement. Les soupapes à boulet doivent être préférées.

Il n'est pas indifférent de faire arriver l'eau des pompes alimentaires en un point quelconque de la chaudière. Le plus souvent c'est par le milieu de la partie cylindrique que l'eau est introduite, mais dans les nouvelles machines de Stephenson ce point d'introduction d'eau est placé dans la portion qui enveloppe la boîte à feu. Comme c'est là que l'ébullition a le plus d'intensité, et que la grande quantité de vapeur qui s'y forme empêche que les parois du foyer soient constamment baignées d'eau, c'est avec raison que Stephenson a jugé convenable de faire arriver en cet endroit l'eau d'alimentation.

La pompe alimentaire de M. Cavé (fig. 25) diffère peu des pompes à clapets. Les clapets reposent ici sur un socle fraisé conique, et sont dirigés par leur tige *t* dans un manchon *m*. Le plongeur est en fonte creuse *p* et frotte sur les parois d'un stuffing-box *s s'* en formant aspiration et refoulement; l'aspiration ouvre le clapet *c* et ferme *c'*, le refoulement ferme le premier et ouvre le second. Le mouvement est communiqué au plongeur par une tige en fer qui s'assemble sur la tête du boulon *b* dont l'écrou *e* est noyé dans la fonte. Au-dessus de chaque clapet le manchon directeur est attenant à un couvercle qu'on peut enlever à volonté pour visiter les clapets dans le cas où ils se dérangeraient.

27. Des tuyaux de prise, de distribution et d'échappement de vapeur. — La vapeur se rend à la partie supérieure de la chaudière; sur le sommet, à l'avant ou à l'arrière, s'élève un dôme au-dessus duquel est quelquefois une des soupapes de sûreté. La vapeur qui se rend dans ce dôme contient beaucoup moins de particules d'eau entraînées par l'ébullition que celle du reste de la chambre de vapeur; c'est donc dans ce dôme *d* (fig. 26), que se fait la prise de vapeur par le tuyau *a* [1].

La figure 27 donne une autre forme de dôme et indique la naissance du tuyau horizontal conducteur de la vapeur *b*; la vapeur se rend ensuite dans deux tuyaux *c* représentés dans la fig. 28, qui la conduisent à l'un et à l'autre cylindre dans la boîte où se meut le tiroir; cette chambre de vapeur est mise en communication avec le cylindre d'un côté ou d'un autre des pistons par les mouvemens alternatifs des tiroirs. Le conduit *g*, que nous avons déjà désigné sous le nom de conduit d'échappement (fig. 10 et 11), communique avec la lumière ménagée entre les deux lumières d'extrémité, et la vapeur se rend ainsi du cylindre dans la cheminée.

Tels sont les points de départ et d'échappement de la vapeur. A la partie inférieure du tuyau bifurqué *d* (fig. 13), qui conduit la vapeur inutile au conduit d'échappement, est un petit tube bifurqué aussi, muni d'un robinet, et qui sert à se débarrasser de l'eau de condensation qui se forme dans les cylindres et dans la conduite que nous venons de décrire. Toutefois, l'eau ne peut arriver là que refoulée par le piston; et pour peu que ce dernier ait de la vitesse, il peut en résulter quelque rupture: on doit

[1] L'eau entraînée dans les tuyaux de distribution de vapeur a de graves inconvéniens; comme elle est incompressible, la pression de va-et-vient du piston peut occasionner des ruptures. La quantité d'eau entraînée par la vapeur est très diminuée quand on augmente la chambre de vapeur, parce-que, de cette manière, le renouvellement de vapeur est moins brusque et cause moins d'agitation dans l'eau. Nous avons indiqué ailleurs un moyen d'empêcher l'eau d'affleurer dans la prise de vapeur, lequel consiste à établir un rebord ou évasement à l'orifice du tuyau de prise de vapeur.

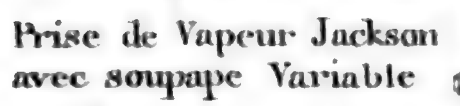
Fig. 27.

Prise de Vapeur de Bury



Fig. 26.

Prise de Vapeur Jackson avec soupape Variable



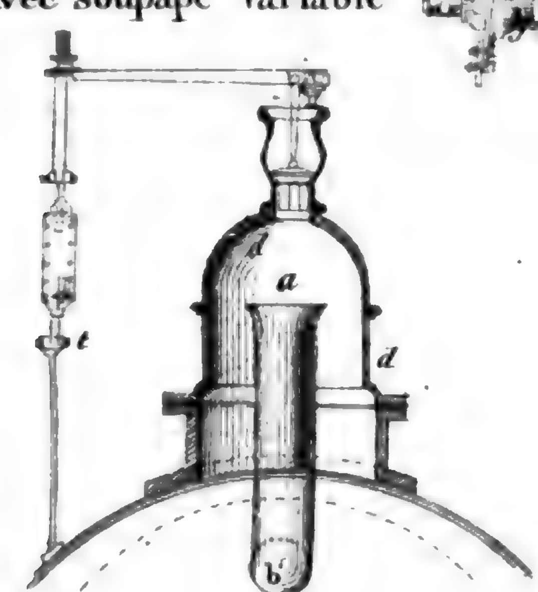


Fig. 29

Prise de Vapeur près de la Cheminée

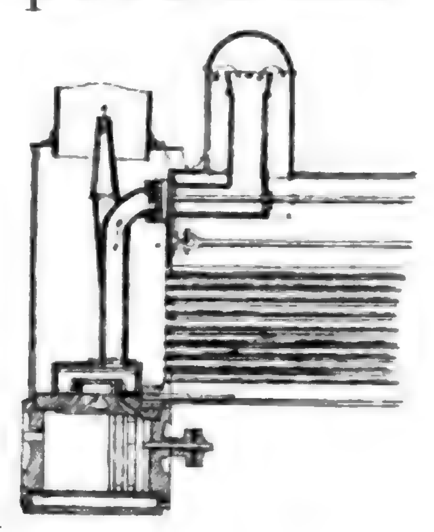
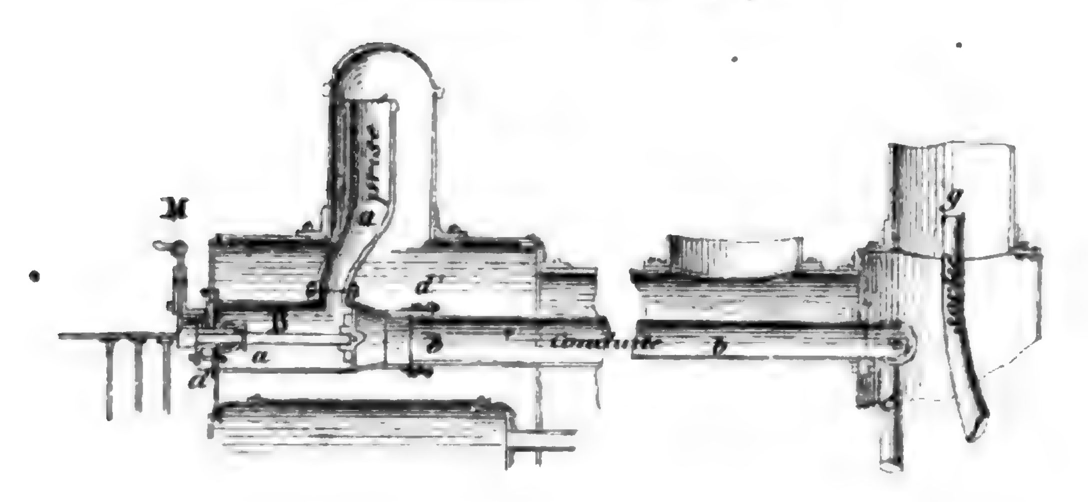


Fig. 28.

Distribution de Vapeur



donc préférer, ainsi que l'ont fait Sharp et Roberts, des robinets placés aux extrémités des cylindres et au-dessous.

Dans les nouvelles machines, au lieu de faire traverser le conduit de vapeur dans la longueur de la chaudière, on met la prise près de la cheminée (fig. 29). L'avantage de cette disposition a été reconnu assez grand pour être adopté généralement. Il y a dans tous les cas une économie de tuyaux et d'espace dans les chambres de vapeur, et ils sont aussi moins sujets à se déranger par les variations de température. La principale raison qui a fait adopter cette disposition, c'est que sur cette grande longueur de tuyaux la vapeur éprouve des frottemens. D'ailleurs il arrive aussi quelquefois que le tuyau se trouve noyé parceque le conducteur laisse monter trop haut son niveau d'eau, et les joints n'étant pas toujours très étanches laissent passer l'eau qui s'échappe alors avec la vapeur. Dans quelques machines on fait deux prises de vapeur, l'une sur la boîte à feu, l'autre près de la cheminée, et aboutissant toutes deux à un même conduit.

Les tuyaux de distribution sont en cuivre, de 0 m. 0045 environ d'épaisseur.

La pression qu'ils ont à supporter est considérable, puisque dans les temps d'arrêt, si les joints sont bien étanches, la vapeur exerce sur eux toute sa pression. Mais cette pression s'exerçant dans tous les sens extérieurement, ils résistent par leur propre forme.

Ils sont boulonnés à oreilles sur la paroi de la boîte à fumée et du foyer ; le joint qui assemble le gros tuyau avec les plus petits, sert à les démonter quand on veut nettoyer la chaudière et avoir un accès facile aux tubes.

On donne au tuyau de distribution une position inclinée pour permettre l'écoulement de l'eau, et un robinet est ménagé à son extrémité. Les mouvemens brusques que font éprouver aux tuyaux les changemens rapides de température, et la différence de dilatation du fer et du cuivre, les déformeraient promptement. Aussi le fixe-t-on à la chaudière par l'intermédiaire d'un stuffing-box *d'* (fig. 28). Les tuyaux de distribution ont de diamètre intérieur 0,10, ce qui donne une section 0,00785 ; cette

section doit être et est généralement plus considérable que celle des lumières [1].

28. Des régulateurs. — En avant de la boîte à feu est le régulateur, au moyen duquel le conducteur ouvre ou ferme l'entrée de vapeur, et augmente ou diminue sa section de passage.

Le système de ces appareils varie suivant les constructeurs, et il est très important que le conducteur connaisse la forme de ces régulateurs pour s'en servir avec intelligence.

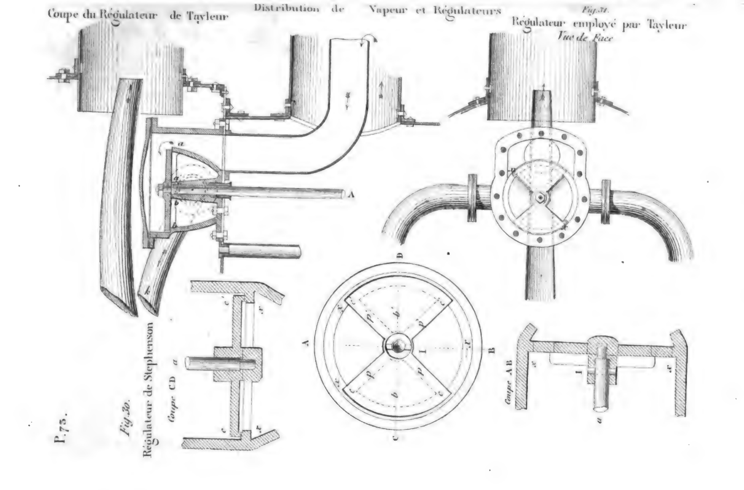
Stephenson et beaucoup d'autres constructeurs après lui, ont fait des régulateurs à rotation (fig. 30).

La fig. 28 indique la place et la vue générale de ce régulateur. Une manette M communique un mouvement de rotation à un axe *a* passant dans un stuffing-box et fixé au moyen d'une clavette au centre I. Cet axe communique son mouvement à une plaque en bronze composée de deux triangles *c*, *c*, *c'*, *c'*, frottant sur la boîte en fonte, suivant la surface circulaire *x x*.

Cette plaque peut s'appliquer sur les vides *b*, *b'*, et les fermer complétement ou les ouvrir en tout ou en partie, d'un côté et d'un autre, au moindre mouvement de rotation que le conducteur imprime à sa manette.

Ce régulateur donne pour une faible course une section de passage assez considérable à la vapeur, excepté pendant les courts instans où la plaque traverse les pleins *p*,*p*,*p'*,*p'*. La pression s'établit dans la chambre B et dans le tuyau *b* (fig. 28), suivant la vitesse de son débit. Elle est égale à celle qui est engendrée par la pression de la chaudière quand la section totale du régulateur est livrée au passage de la vapeur, parceque cette section est la même que celle du tuyau B. On a pour ouvrir le régulateur à vaincre les frottemens résultant de la différence des

[1] Le cuivre se dilatant de 0 à 100° de 0,00187 ou $\frac{1}{533}$ de sa longueur, et le fer de 0,00122 ou $\frac{1}{819}$ c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 0,64, les rapports de la dilatation du fer et du cuivre peuvent se présenter en nombres ronds par 5 à 3.


Distribution de Vapeur et Régulateurs
Coupe du Régulateur de Tayleur
Fig.31.
Régulateur employé par Tayleur
Vue de Face
P.73.
Fig.30.
Régulateur de Stephenson
Coupe CD
Coupe AB

deux pressions. Un cercle gradué indique suffisamment, à l'extérieur, le degré d'ouverture du régulateur, et le conducteur doit y apporter la plus grande attention.

Tayleur emploie un régulateur semblable en principe à celui de Stephenson, mais dont la disposition générale est différente : cette disposition est donnée (fig. 31). La prise de vapeur est près de la cheminée. La paroi sur laquelle frotte la plaque de distribution a la forme *aa' bb'* : elle reçoit un tuyau de conduite à la boîte à tiroir *k*. Le mouvement de rotation est donné par l'axe. Les petits goujons *xx* (dans la vue de face) servent à arrêter la plaque tournante, soit qu'elle ouvre, soit qu'elle ferme les orifices de passage.

L'appareil dont s'est servi Bury dans sa machine à 4 roues *la Seine* est un simple robinet à deux ouvertures (fig. 32) : l'ouverture *a* communique au tuyau de prise de vapeur; l'ouverture *b* au tuyau de distribution. Le stuffing-box *s*, est ménagé sur les parois de la chaudière *p p*. On comprend que dans un régulateur de cette nature les frottemens sont considérables, et qu'ils exigent dans leur construction des opérations coûteuses d'alesage et de tournage. Ce système de régulateur a en outre le désavantage de se déranger facilement en raison des dilatations inégales qu'éprouve nécessairement une pièce dans laquelle le volume de matière est réparti inégalement; cependant cette machine est la plus ancienne du chemin de fer de Saint-Germain, et son régulateur n'a reçu encore aucune réparation; cela tient sans doute à ce qu'il a exclusivement l'avantage de pouvoir se graisser facilement.

Bury aussi a employé dans ses machines un régulateur dont le principe et l'application ont dû être modifiés. La vue générale est donnée fig. 27, et en coupe, fig. 33.

Le tuyau *a* est la prise de vapeur; *b*, le tuyau de distribution; *c*, le tuyau qui vient s'ajuster sur les parois de la chaudière; *k* est une pièce cylindrique en bronze qui se place en *k'*, comme l'indique la coupe; dans le vide *x* en hélice entre un goujon; quand le conducteur imprime un mouvement de rotation à l'axe

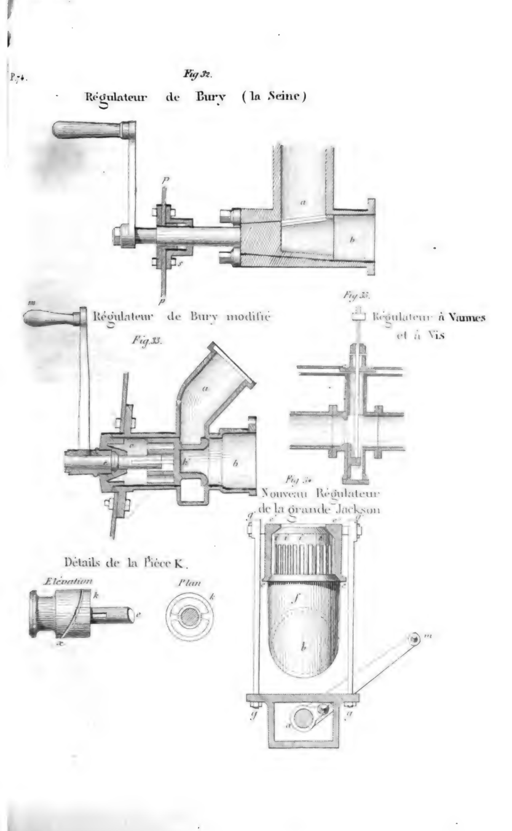
e, par l'intermédiaire de sa manette *m*, l'hélice suit le goujon et donne un mouvement rectiligne à la pièce *k*.

La liaison de la pièce *k* avec l'axe a lieu à l'aide de 2 clavettes en fer qui sont fixées à la pièce *k*, et qui glissent dans deux rainures pratiquées à l'axe, ce dernier ne peut prendre qu'un mouvement de rotation; mais la pièce *k*, guidée par le goujon, est obligée de glisser le long de l'axe, c'est ainsi que s'ouvre et se ferme la communication des tuyaux *a* et *b*.

Ce régulateur aurait besoin d'être nettoyé et graissé très souvent, et cette opération est malheureusement très longue et difficile, car pour sortir la pièce *k*, il faut qu'un homme entre dans la chaudière et enlève le goujon; il résulte de là que le graissage n'ayant pas lieu, il se manifeste bientôt des frottemens très durs d'abord à la circonférence de la pièce *k*, mais surtout dans la rainure *x*, et dans celle de l'axe; aussi devient-il quelquefois impossible de la manœuvrer. Il faut donc rejeter cet appareil dont la combinaison est ingénieuse, il est vrai, mais qui présente, dans l'application, de trop graves inconvéniens.

Quelquefois la pièce *k*, ne joignant pas bien sur la circonférence, la vapeur arrive dans la partie *c*; alors le régulateur a une grande tendance à se fermer seul, et le conducteur est obligé de tenir constamment la main à la manette.

Le régulateur de la nouvelle Jackson a une construction différente (fig. 34). En *m*, est la manette; en *a*, est le point de rotation fixe qui donne le mouvement de translation au châssis *g g'*, par l'intermédiaire du bouton *c*; le cylindre *eé*, ne touche plus les parois du cylindre *f* quand il est levé, et la vapeur peut alors s'introduire par les orifices *i*, et se rend dans le tuyau de distribution. La pression d'un côté et d'un autre de la prise *eé* est égale à celle de la chaudière, mais c'est sur la différence entre les zones circulaires mesurées par les verticales des points de superposition qu'elle s'exerce et cette différence est petite; de plus une fois que le chassis *e e* est séparé du cylindre *f*., la première a encore moins d'influence sur lui, en sorte que le conducteur de la machine éprouve très peu de résistance pour


Fig. 32.
Régulateur de Bury (la Seine)
a
b
p
p
s
m
Régulateur de Bury modifié
Fig. 33.
a
b
e
k
Fig. 35.
Régulateur à Vannes et à Vis
Fig. 34
Nouveau Régulateur de la grande Jackson
f
b
m
a
g
g
Détails de la Pièce K.
Elévation
Plan
k
e
x
k

ouvrir et pour fermer le régulateur. C'est là un des grands avantages de ce régulateur. Un autre non moins important, c'est que pour le moindre mouvement du levier *m*, le régulateur est ouvert, ce qui n'a pas lieu pour le régulateur de Stephenson ; de plus on peut faire varier autant qu'on le veut et sans effort la sortie d'écoulement et cela dans tous les degrés de passage du maximum au minimum.

Ce régulateur a cependant l'inconvénient de laisser passer quelquefois la vapeur, même quand il est fermé, car celle-ci pouvant s'introduire par *e* et par *e*, l'inégalité de dilatation du métal, qui peut résulter de l'inégale répartition de la matière, produit un intervalle vide en *e* par lequel la vapeur peut entrer.

On a imaginé plusieurs autres régulateurs. Les uns sont à vannes (fig. 35), les autres à soupape mobile à l'aide d'une vis ménagée dans la tige à l'extrémité près de la main du mécanicien.

Les effets du régulateur ont besoin d'être étudiés. Quand le régulateur est ouvert, la vapeur prend une vitesse proportionnelle à la différence de pression dans la chaudière et dans les conduits de vapeur : quand on réduit son ouverture, le volume d'écoulement diminue : quand on ferme de plus en plus le régulateur, la tension de la vapeur qui mène aux cylindres est notablement réduite ; c'est ainsi qu'on régularise la vitesse et le poids remorqué suivant les exigences du service, et l'on a évidemment avantage à augmenter le diamètre des conduits de distribution afin d'être plus complétement maître de cet effet, qui a pour limite la possibilité de débiter assez de vapeur pour rendre la tension dans les cylindres égale à celle de la chaudière.

29. Des tiroirs et des cylindres — Quand le régulateur est ouvert, la vapeur se rend, par des tuyaux en cuivre de 0, 0032 d'épaisseur, à chacun des cylindres ; ces derniers sont en fonte de 0, 025 d'épaisseur environ. Ils sont divisés en plusieurs parties, comme l'indiquent les coupes transversale et longitudinale (fig. 37 et 38).

La chambre B, située à la partie supérieure, se nomme la boite

à tiroirs, et contient les coquilles ou tiroirs C. C'est dans cette boîte, fermée de tous côtés et munie de joints bien étanches, qu'entre la vapeur motrice par le tuyau d'introduction A.

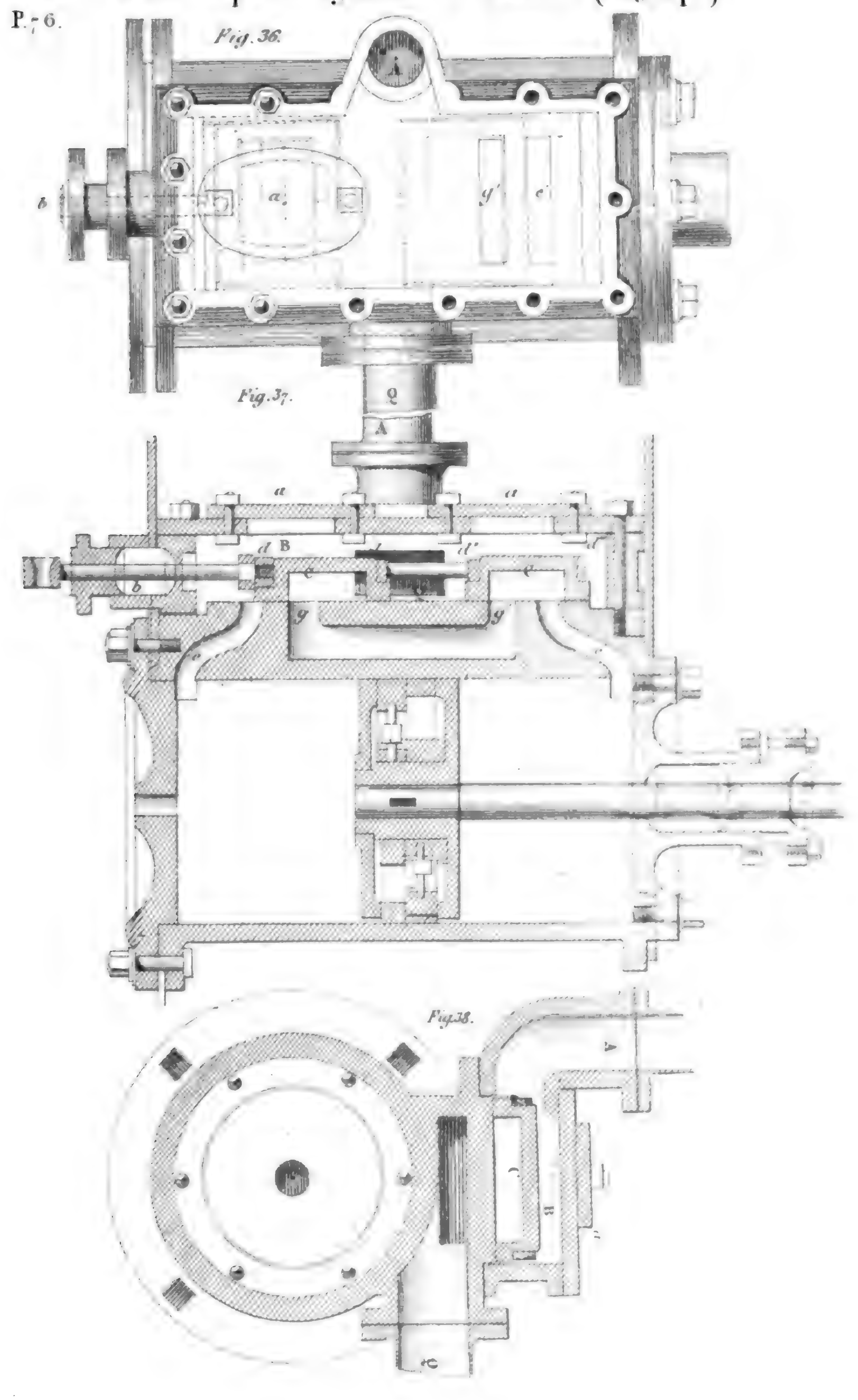
Cette chambre de vapeur doit être aussi grande que possible, pour que la vapeur y soit animée de la moindre vitesse et qu'elle ne perde pas sa chaleur, et, par conséquent, sa tension.

La partie supérieure contient quatre orifices, *e e' g g'* appelés lumières, dont deux *e e'* établissent la communication entre la boîte à tiroirs et le corps du cylindre, et dont les deux autres *g g'* communiquent avec l'orifice d'échappement Q par l'intermédiaire de l'intérieur des coquilles. La fig. 36 donne le plan d'un cylindre ; sur une partie, on a montré le cylindre avec le couvercle; dans l'autre, on a supposé le couvercle enlevé et les orifices *e' g'* visibles. En *a a'* sont deux ouvertures elliptiques ; elles ont pour objet de permettre de voir la position des tiroirs par rapport aux lumières quand on règle la distribution. Le couvercle est boulonné avec le cylindre à l'aide de vis dont le taraudage est noyé dans la fonte.

Les tiroirs sont en bronze ou en fonte; ils sont animés d'un mouvement de va-et-vient au moyen d'une tige qui passe dans un stuffing-box *b*. Cette tige est assemblée aux tiroirs au moyen de brides rectangulaires en fer *d d' d'' d'''*; la tige tient à la première bride par un taraudage et un contre-écrou. Le deuxième tiroir est relié au premier par une entretoise qui entre à vis dans les deux brides avec deux contre-écrous pour empêcher le desserrage. Ces deux derniers pas de vis sont l'un à droite et l'autre à gauche. Cela donne le moyen de rapprocher ou d'écarter les tiroirs, et de les mettre rigoureusement à l'écartement voulu. On voit que les armatures sont indépendantes des tiroirs, c'est-à-dire ne forment pas une seule pièce avec eux pour permettre les mouvemens que fait éprouver aux tiroirs la pression de la vapeur combinée avec l'usure. C'est par une raison analogue que, dans les systèmes à trois lumières, au lieu de quatre, on les place toutes trois à l'extrémité de l'avant de la boîte à tiroirs, et on fait la tige des tiroirs assez longue, afin que dans le cas où les tiroirs s'usent,

Plan et coupes du Cylindre de Jackson. (Denys Papin)

P. 76.



la tige tendant à s'abaisser et à fléchir, cet effet soit plus facile en raison de sa longueur.

Le mouvement alternatif des tiroirs introduit la vapeur d'un côté ou d'un autre du piston par les lumières, dont les dimensions varient suivant les machines. Leur section est généralement égale au 10e de la surface du piston. La pression sur les tiroirs par centimètre quarré de la surface de la boite intérieure est égale à celle qui agit sur les pistons ; en sorte que les tiroirs sont soumis à une grande adhérence sur la plaque sur laquelle ils frottent. Toute la partie en frottement est planée ; et comme l'usure en était assez rapide, on a imaginé de couler cette plaque sur fonte afin de faire éprouver une certaine trempe à cette surface pour que, dans tous les cas, elle use les tiroirs sans être altérée par eux, car il est évident que leur remplacement est moins coûteux et moins long que ne le serait celui du corps du cylindre.

Les cylindres dans lesquels le mouvement prend naissance sont en fonte de 0,02 d'épaisseur environ, et de 0,30 à 0,33 de diamètre intérieur, alésés avec soin pour recevoir le piston tourné.

Les joints des tuyaux avec le cylindre se font à brides, et pour les rendre bien étanches on y interpose de la toile ou du plomb et du mastic rouge.

Les cylindres sont fermés d'un côté par un couvercle en fonte qu'on peut démonter à volonté quand on veut réparer le piston. Au centre de ce couvercle est un petit orifice destiné à recevoir une boîte à graisse qui communique avec l'intérieur du cylindre. L'autre extrémité est fermée par un couvercle à-peu-près semblable, mais d'un diamètre moindre parce qu'il n'est pas nécessaire de pouvoir sortir le piston de ce côté.

Dans beaucoup de machines, au lieu de quatre ouvertures, il n'y en a que trois : deux pour l'introduction, et une pour l'échappement ; dans ce cas aussi il n'y a qu'un tiroir au lieu de deux.

La fig. 39 donne la coupe d'un cylindre de Tayleur, ayant une seule coquille et trois lumières. L'inconvénient de ces trois orifices est que les conduits de vapeur sont nécessairement plus longs dans ce cas ; et comme à chaque coup de piston la vapeur qui les

remplit pour l'introduction passe par l'échappement sous le tiroir, la quantité de vapeur perdue est plus considérable : sous ce rapport il y a donc désavantage, mais d'un autre côté la surface en frottement est moins considérable. La tige du tiroir dans ce cylindre est dirigée par deux stuffing-boxes contrairement à la plupart des autres dispositions. Le petit appareil *r* en forme de robinet renversé sert à introduire l'huile dans le cylindre; il peut se retourner et permettre à l'eau que la vapeur amène ou qui est condensée de s'échapper, mais on s'en sert fort rarement, et d'ailleurs sa position serait mauvaise; il devrait se trouver à la partie inférieure. Quelques constructeurs ont adopté pour leurs cylindres une bonne disposition : la paroi du couvercle au lieu d'être verticale offre deux inclinaisons extérieures, l'une du côté de la lumière, l'autre à la partie inférieure; cette dernière communique avec un robinet destiné à dégager le cylindre de toute l'eau qu'il peut contenir. Au reste ce moyen de se débarrasser de l'eau est assez rarement employé; ordinairement les coups de piston suffisent pour la chasser par les lumières et elle va de là dans le tuyau d'échappement et dans la cheminée ou bien se réunit à la partie inférieure des tuyaux de dégagement qui est munie d'un robinet. Si les lumières étaient trop tôt fermées par les pistons on ne pourrait se débarrasser de cette eau; et comme ce fluide est presque complétement incompressible, le piston en venant le frapper éprouverait une résistance analogue à celle qui résulterait d'une masse métallique, ce qui amènerait la rupture de pièces importantes. Le stuffing-box *s* présente aussi une construction différente de celle adoptée généralement : la fig. 39 en donne les coupes longitudinale et transversale; la boîte *a* a l'avantage de contenir de l'huile et d'en graisser toujours la tige du piston pendant son mouvement; cette boîte forme en même temps stuffing-box en entrant dans le cylindre alésé *c*, un autre stuffing-box est disposé par les deux manchons *a* et *b* et le cylindre-enveloppe *d* ne sert qu'à garantir l'intérieur de la boîte à graisse de la poussière et des matières ténues qui pourraient s'y introduire.

Un autre système de distribution a été adopté par Sharp et

Fig. 39.

Cylindre de la Machine Tayleur

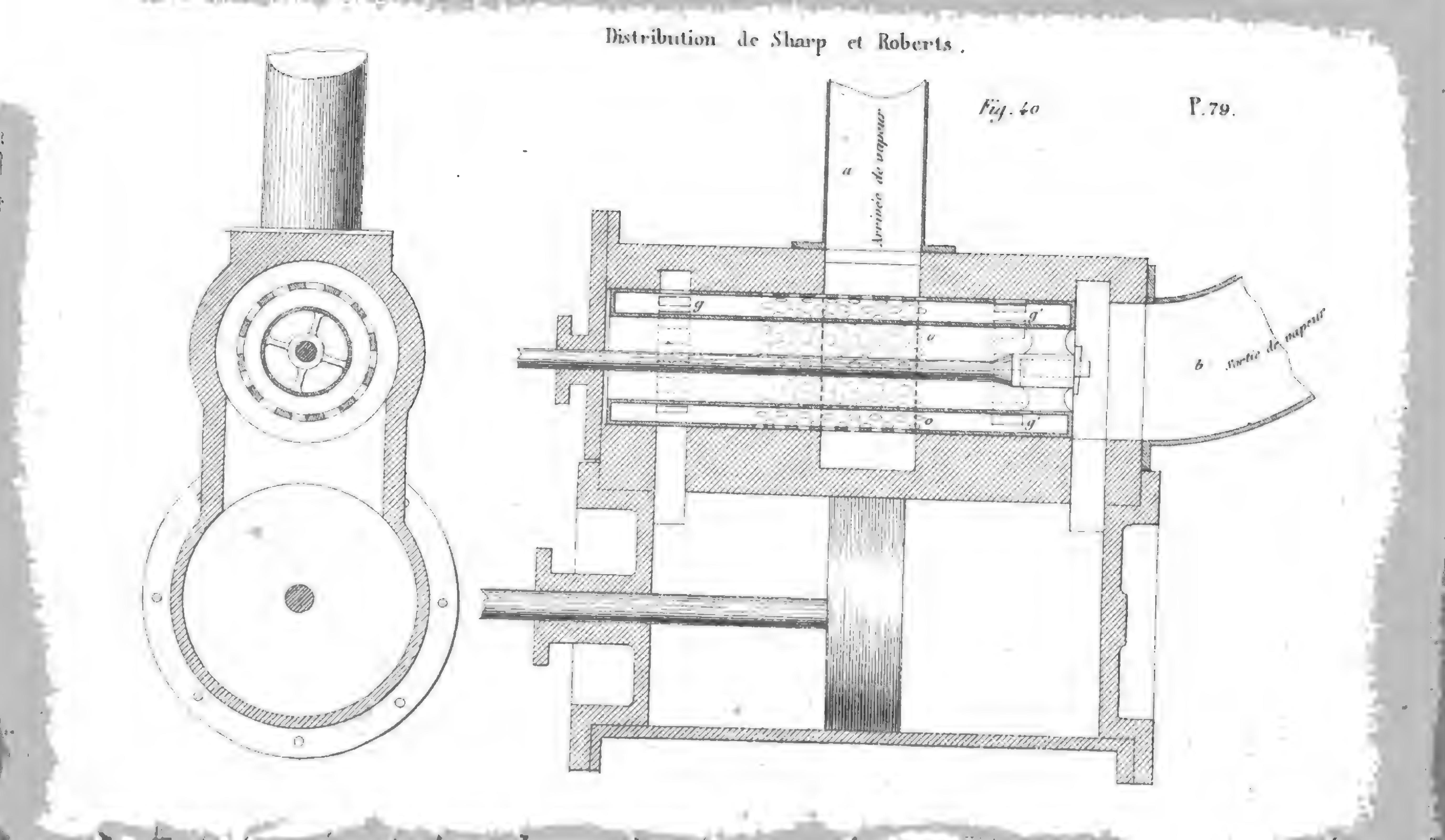
Tuyau d'Echappement

Tuyau d'entrée de vapeur

Robinet de graissage et de Vidange

0,298

0,545


Distribution de Sharp et Roberts.
Fig. 40
P. 79.
a Arrivée de vapeur
b Sortie de vapeur
g
g'
g'
o
o

Roberts, et paraît présenter certains avantages particuliers ; la boîte de distribution de vapeur est cylindrique et contient un piston creux en cuivre mené par une tige comme les tiroirs ordinaires. Dans ce cylindre sont deux compartimens. Celui de l'extérieur reçoit la vapeur par les orifices circulaires *o*, et l'introduit dans les cylindres par les orifices rectangulaires *gg* quand la course découvre la lumière correspondante au cylindre ; cette vapeur sortant ensuite du cylindre, lorsque la même lumière se trouve découverte, passe soit à travers le compartiment intérieur, soit directement dans le conduit d'échappement *b*. Cette disposition permet de plus grands orifices d'entrée et d'échappement, et le jeu de la distribution y est exempt de pression. L'usure seule du cylindre en cuivre est à redouter et entraînerait des pertes de vapeur.

30. Des pistons. Les pistons qui fonctionnent dans les cylindres moteurs sont de différens systèmes.

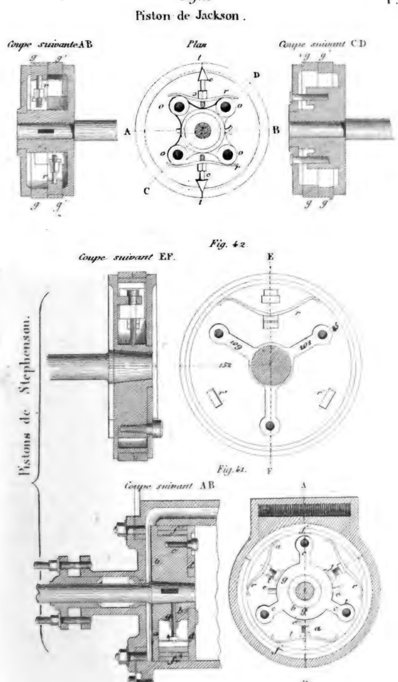
Stephenson emploie un piston dont la coupe et la vue de face sont données (fig. 41).

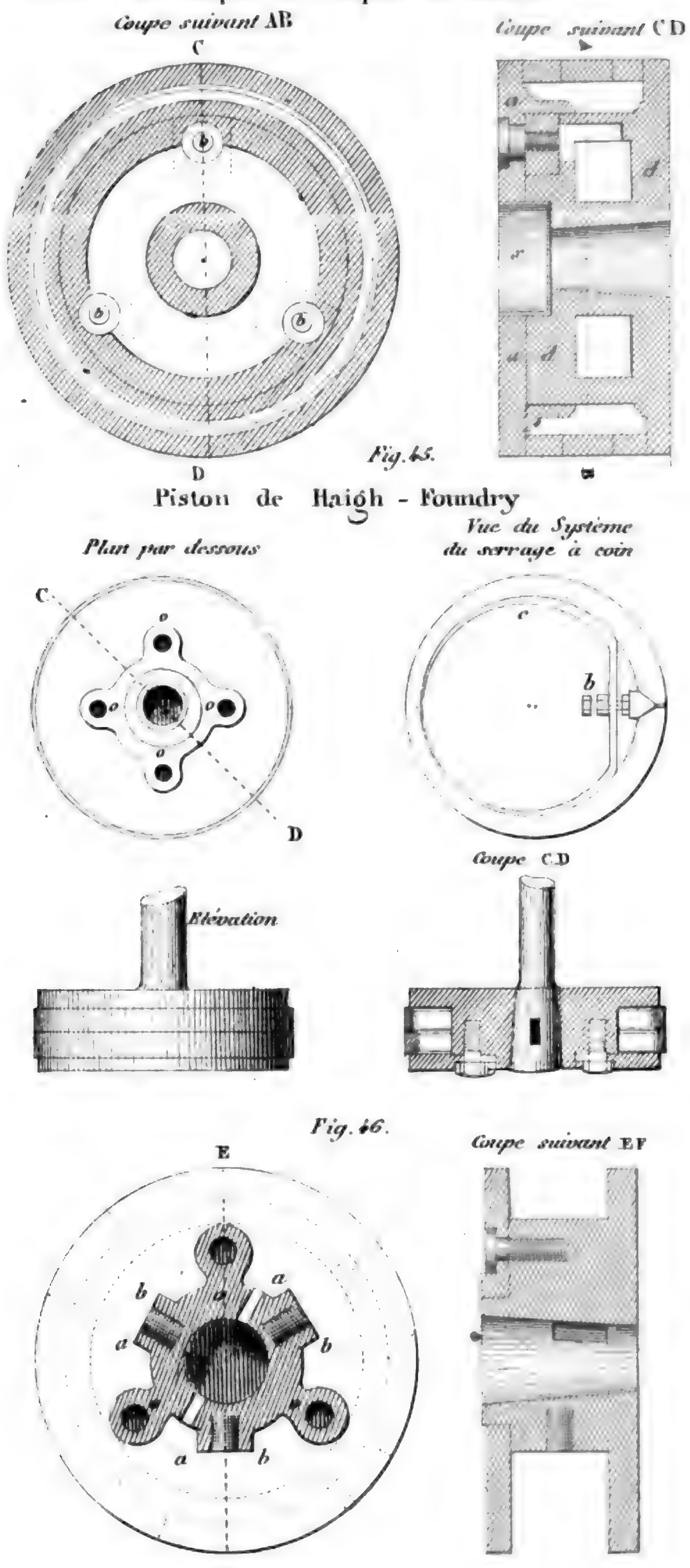
Il est tout en bronze et consiste : en une plaque ayant un renflement au centre avec trois oreilles disposées suivant les rayons du cercle *c*, et équidistantes entre elles ; une autre plaque circulaire *d* s'applique sur la plaque *b* à l'autre extrémité du piston, en permettant le passage du renflement central, et forme corps avec le reste du piston à l'aide de boulons entrant dans un taraudage ménagé dans la partie *b*. Les plaques *a* et *d* sont tournées presqu'exactement du diamètre du cylindre, mais sans cependant le toucher. Les cercles *f*, qui seuls frottent sur les parois du cylindre, se placent entre les deux ; ils ont 0,0127 d'épaisseur, et sont composés de plusieurs segmens, mais de manière à ce que les joints ne se correspondent pas ; ils sont tournés intérieurement et extérieurement, de sorte qu'ils s'appliquent exactement sur les parois du cylindre et l'un sur l'autre. Ces joints ont l'avantage de donner une certaine élasticité aux cercles, en sorte qu'après un certain temps les joints se séparent, les segmens continuent à presser le

cylindre à mesure qu'ils s'usent, en vertu de leur force d'extension ; mais bientôt ce moyen deviendrait insuffisant et l'usure trop considérable pour que le frottement du piston sur le cylindre rende l'obturation bien complète, c'est pour éviter cet inconvénient que l'on emploie les ressorts *rrr* qui sont au nombre de trois, et qui s'appliquent sur les cercles par deux points. Au centre de ces ressorts passent trois boulons *t* taraudés dans le renflement central, et munis de deux écrous. A mesure que les cercles en frottement s'usent, il suffit de tourner les boulons qui, sortant un peu de leur taraudage, pressent sur les ressorts : on resserre aussitôt les contre-écrous pour empêcher les boulons de se détourner. Quand il faut opérer ce serrage, on obtient un accès facile à l'intérieur du piston au moyen du couvercle qu'il suffit d'ôter en dévissant les boulons.

La fig. 42 donne la coupe et la vue de face d'un autre piston employé par Stephenson, et qui diffère très peu de celui que nous venons de décrire. Il y a, comme dans le précédent, trois ressorts qui se placent suivant les positions r, r' r''.

Souvent les pistons sont garnis avec deux ou plusieurs cercles en fonte ou en bronze de 0,0254 d'épaisseur environ, divisés en trois ou quatre segmens, et munis de coins placés entre ces segmens, qui sont en outre pressés d'une manière continue par des ressorts, de manière à serrer convenablement les segmens sur les cylindres. Parmi les systèmes à coins (fig. 43), Jackson a imaginé la disposition suivante. La garniture est en fonte, et composée de deux cercles gg' comme dans le piston de Stephenson. On voit que la largeur des cercles n'est pas égale partout. A la partie la plus large est le coin de serrage en fer ou en fonte qui tend à ouvrir le cercle et à l'appliquer sur l'intérieur du cylindre. Les ressorts plats *r r* servent à le maintenir dans la cavité *t*. Dans ce piston, les ressorts s'appuient sur les oreilles *o* venues à la fonte. La pression s'exerce sur les coins comme il est expliqué pour le piston de Stephenson. Les coins et les ressorts des deux rangées de garnitures sont à joints croisés. Les coins ne commencent à être utiles que quand les cercles viennent


Fig. 43
Piston de Jackson.
Coupe suivante AB
Plan
Coupe suivant CD
Fig. 42.
Coupe suivant EF.
Pistons de Stephenson.
Fig. 41.
Coupe suivant AB


Fig. 44
Piston métallique a cloupes de Jackson
Coupe suivant AB
Coupe suivant CD
C
D
Fig. 45.
Piston de Haigh - Foundry
Plan par dessous
Vue du Système du serrage à coin
C
D
b
Coupe CD
Elévation
Fig. 46.
Coupe suivant EF
E
F
a
b

à s'user, car, au moment du montage, les coins sont à peine entrés dans la cavitédestinée à les recevoir; les cercles s'appliquent d'eux-mêmes exactement sur la surface du cylindre. Mais les pistons ainsi disposés sont sujets à un inconvénient auquel ne sont pas exposés les pistons à ressorts sans coins: c'est que quand par suite de l'usure des segmens les coins viennent à toucher la paroi du cylindre, ils finissent par l'user suivant une ligne droite, et à former une rainure, en sorte que le système à segmens et à ressorts sans l'intermédiaire de coins semble devoir être préféré, toutes les fois que l'inconvénient que nous venons d'indiquer n'est pas évité par de meilleures dispositions.

Jackson a aussi employé un piston métallique et à étoupe dont les coupes horizontale et verticale sont données fig. 44. Il est composé de deux parties en fonte qui entrent l'une dans l'autre *aa, dd*. C'est dans l'espace compris entre ces deux parties que sont placés les cercles en cuivre ou en fonte qui forment ressort et qui à cet effet sont formés de segmens dont les joints sont obliques. La partie inférieure est réunie à l'autre à l'aide de trois boulons *b*, qui entrent dans un écrou en cuivre et forment serrage au moyen d'un double écrou inférieur. En *x* est un écrou, taraudé à l'intérieur, et destiné à s'attacher à la tige du piston, également taraudée à cette partie et qui est en outre conique à la partie qui entre dans le haut du piston. Entre les deux disques en fonte et les cercles on serre de l'étoupe qui remplace les ressorts en jouant le même rôle, mais inégalement. Ces pistons exigent d'être démontés très souvent pour remplacer l'étoupe qui ne conserve pas long-temps son ressort.

Haigh-Foundry fait ses pistons (fig. 45) sur un modèle analogue à ceux de Stephenson, seulement les disques sont en fonte et les cercles aussi, au lieu d'être en cuivre; en outre, au lieu de quatre ressorts, il n'y en a qu'un qui imprime sa pression à un coin unique. La tige est fixée au piston au moyen d'une clé. Le boulon *b* opère le serrage ou le desserrage au moyen d'un double écrou. Les quatre oreilles *o* servent à relier les plaques supérieure et inférieure au moyen de boulons. On voit que, comme dans le

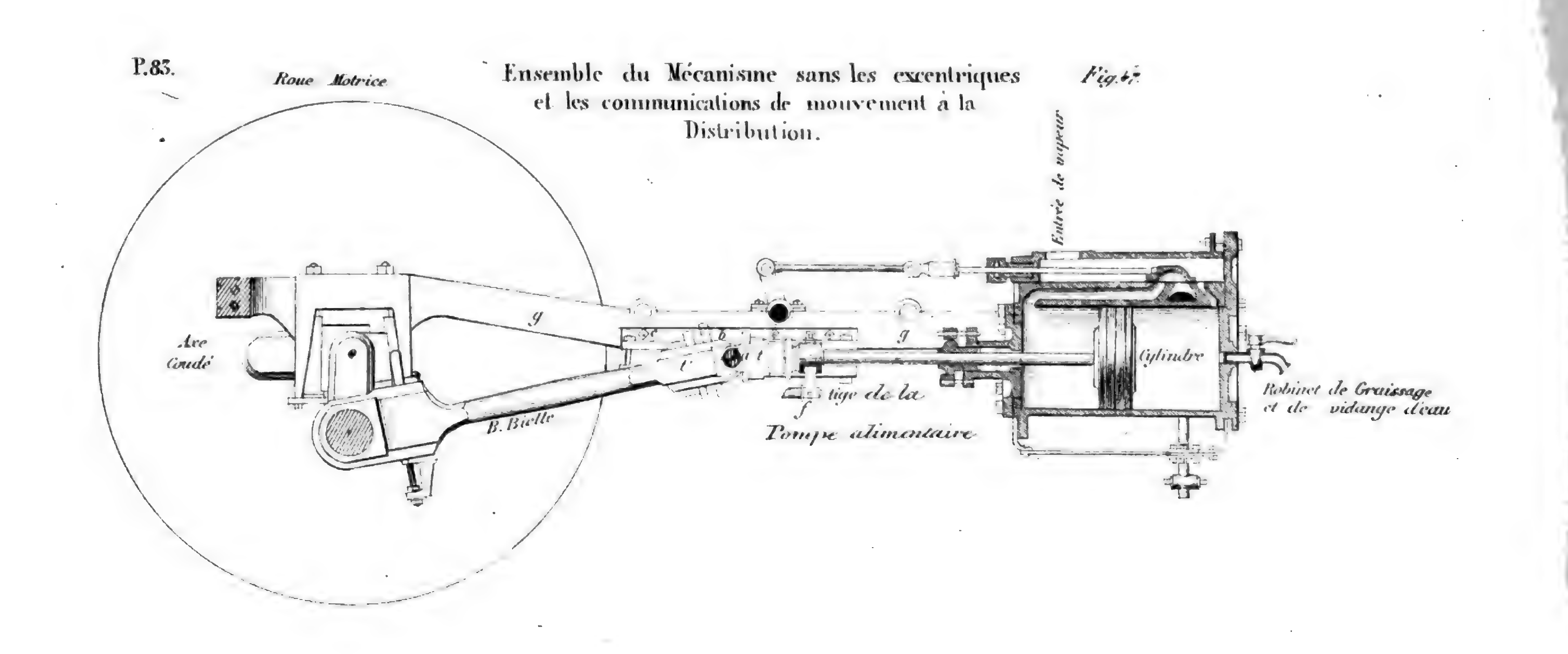
premier piston de Jackson, l'épaisseur du cercle est inégale. C'est dans la partie où elle est plus grande que le coin est ménagé. La forme de ce dernier est indiquée dans la vue ci-jointe; la partie intérieure est terminée par deux parties droites donnant la limite d'écartement après lequel les cercles doivent être changés, pour éviter que l'angle du coin vienne frotter contre les parois du cylindre.

Les cercles qui forment la garniture du piston d'Haigh-Foundry sont en fonte; mais on a remarqué un inconvénient qui dépend de la trop grande épaisseur du cercle à la partie où se trouve le coin, c'est que la partie la moins épaisse s'infléchit intérieurement et ne frotte plus contre les parois du cylindre. On a remédié à cet inconvenient. Un autre perfectionnement important apporté au piston de Haigh-Foundry consiste en ce que l'appui de la vis qui presse le coin est pris sur un cercle en acier concentrique avec le cercle de fonte, ce qui distribue l'effort uniformément sur toute la circonférence. Au contraire, dans le piston Jackson, le point d'appui n'étant pris que sur le centre du piston, il en résulte qu'outre l'effort d'écartement produit par le coin, il y a une pression dans le sens de la vis qui fait que le cercle de fonte frotte plus fortement de ce côté, tandis que la partie opposée n'éprouve qu'un frottement léger. C'est à cela surtout qu'il faut attribuer l'inégalité de frottement. Tayleur avant Haigh-Foundry avait senti la nécessité de répartir également la pression; au lieu d'un coin il en a mis quatre sur la circonférence, lesquels sont poussés par un cercle d'acier déformé par leur pression et qui tend à reprendre la forme circulaire.

La figure 46 donne deux coupes du piston employé par Bury. On a supposé dans ces coupes que la garniture était enlevée, cette garniture étant exactement semblable aux précédentes. Il y a trois ressorts dont le serrage s'obtient à l'aide d'écrous qui viennent s'appuyer sur les bases *a b*. Trois boulons passant par trois oreilles *o* viennent assembler la partie supérieure à la partie inférieure.

Dans les machines fixes, on emploie assez souvent des pistons





Ensemble du Mécanisme sans les excentriques et les communications de mouvement à la Distribution.

dont la partie frottante est formée d'étoupes au lieu d'une garniture métallique ; mais cette disposition est beaucoup inférieure aux précédentes, parce que ces pistons exigent de fréquens renouvellemens et qu'ils donnent une pression inégale en raison du grand serrage qu'on est obligé d'imprimer à l'étoupe, pour que le piston soit plus long-temps étanche. Dans une machine locomotive où la rapidité de la course du piston est très grande, cette disposition est tout-à-fait inadmissible.

La course du piston varie, suivant les machines, de 0,40 à 0,46 (voir le tableau A de la note 2). Dans les machines fixes, l'action de la vapeur dans le cylindre est exactement semblable ; seulement le cylindre, au lieu d'être horizontal, est ordinairement vertical. La position horizontale est désavantageuse en raison du travail inégal du piston sur le cylindre, qui presse de son poids et du poids de sa tige, et qui, produisant une usure d'un seul côté, tend à faire subir à cette tige une flexion qui la fatigue. Cependant dans les machines locomotives, comme les pistons sont très petits et légers, l'usure inégale est moins sensible ; au contraire, dans les machines fixes, les pistons ayant toujours un plus grand diamètre, cette action serait très destructive.

31. Des tiges des pistons. — Les tiges des pistons ont environ 0,044 de diamètre. Elles sont renflées en cône à leur extrémité de manière à avoir un diamètre de 0,05. Au milieu du piston, dans le centre du renflement, la clé d'attache, qui peut avoir environ 0,0127 de largeur, fixe le piston à sa tige de manière à éviter tout mouvement. L'autre extrémité de la tige passe dans le stuffing-box ménagé dans le couvercle du cylindre, dont nous avons déjà parlé. La tige est en acier tourné et poli pour donner le moindre frottement possible dans le stuffing-box. Sur cette tige s'assemble un manchon à clavette destiné à recevoir la tige d'une des pompes alimentaires, qui, de cette manière, est entraînée par le mouvement du piston. L'assemblage des deux tiges du piston et des pompes alimentaires est donné (fig. 48). Le manchon peut

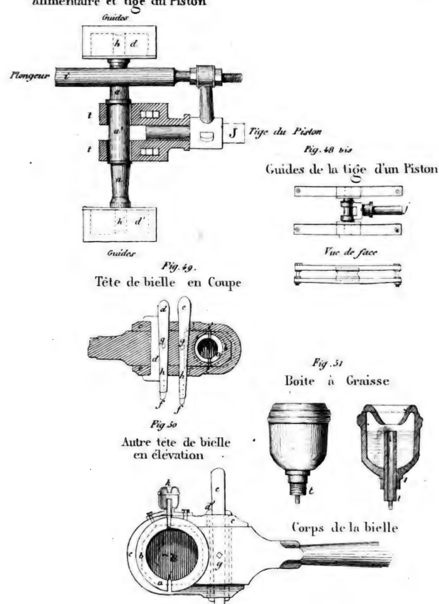
se fixer à différens points afin de faciliter la pose et le travail des plongeurs suivant la position des corps de pompe.

32. TÊTES D'ASSEMBLAGE DES TIGES DE PISTON AVEC LA BIELLE. — L'extrémité de la tige du piston opposée au piston est composée d'une double tête *t*, recevant à son milieu la tête de la bielle par l'intermédiaire d'un axe *a* en fer forgé, terminé par deux petites masses ou guides en acier munis de rebords extérieurs et dirigés entre deux barres ou glissoires à coulisses en acier *d d'* aussi fixées aux grandes traverses au moyen de boulons. Ces guides sont au nombre de deux pour chaque piston, ils servent, avec les glissoires, à maintenir la tige invariablement dans la ligne d'axe du cylindre. *J* est la tige du piston; *i* le piston de la pompe alimentaire; en *h* est un trou ménagé dans le guide et destiné à recevoir l'axe *a*. En *a'* se place la tête de la bielle de transmission de mouvement. Les guides sont évidés pour les alléger et le rebord les empêche de se déranger de leur position. Les surfaces sur lesquelles ils frottent étant bien graissées, la tige du piston se trouve être dirigée sans perte de force trop sensible. La fig 48 *bis* donne le détail de ces glissoires.

La direction du mouvement de la tige est quelquefois obtenue d'une autre manière. L'axe *a* est terminé à ses deux extrémités par un œil rectangulaire en acier qui entoure deux barres aussi en acier, rendues parfaitement horizontales et rigides; l'axe *a* est ainsi dirigé en glissant sur ces deux barres.

D'autres moyens sont employés par divers constructeurs, mais ils reviennent tous à la disposition de la fig. 48 *bis*.

33. DES BIELLES. — La bielle en fer s'assemble d'un côté avec la tige du piston, de l'autre avec l'axe coudé (fig. 49); sa tête et celle du piston sont de construction semblable, seulement cette dernière est double comme il est montré dans la fig. 48. La construction de ces têtes est à-peu-près la même dans toutes les machines; la fig. 49 en donne la coupe par le milieu suivant un plan parallèle à l'axe de la machine.


Fig. 48.
Plongeur de la Pompe alimentaire et tige du Piston
Guides
Plongeur
Tige du Piston
Guides
Fig. 48 bis
Guides de la tige d'un Piston
Vue de face
Fig. 49.
Tête de bielle en Coupe
Fig. 51
Boite à Graisse
Fig 50
Autre tète de bielle en élévation
Corps de la bielle

L'axe directeur *a* est quelquefois sphérique en son milieu (fig. 53) pour permettre le mouvement dans tous les sens à cause des torsions produites sur cet assemblage par les inclinaisons inégales que la pose imparfaite du chemin fait subir à l'axe coudé, c'est sur cette partie que frotte l'œil *o*; *b* est un coussinet en bronze en deux parties destiné à rendre le frottement plus doux. Une chape en fer *c* embrasse la partie supérieure du coussinet et s'assemble avec la tige de la bielle au moyen des clavette et contre-clavette *d* à la manière ordinaire; la pièce *e* taillée en coin sert à rapprocher les deux parties du coussinet quand elles viennent à s'user; à cet effet un vide est ménagé en *i*. Le coussinet dépasse les deux faces de la tête et est muni de rebords extérieurs qui l'empêchent de se déplacer; en *g* sont ménagés dans la tête de bielle deux trous destinés à recevoir de petites vis de serrage afin de fixer les clavettes quand elles sont arrivées à leur place.

Les clés de serrage retenues déjà par les vis *g* sont fendues par le milieu, et à l'extrémité on chasse un coin *f* qui écarte les deux parties extrêmes et qui est retenu par des goupilles *h*.

La fig. 50, qui s'explique d'elle-même, indique un autre assemblage de tête de bielle avec sa boîte à graisse *k*. Le serrage des coussinets quand ils s'usent s'effectue au moyen de la clé *e* qui serrant sur la contre-clavette d' rabaisse la chape *c* et resserre la partie supérieure *b* du coussinet. Cette disposition a l'inconvénient de changer le centre *o* de place quand les coussinets s'usent par le frottement. Dans la tête de bielle (fig. 49), le centre se déplace aussi : la seule différence, c'est qu'ici la bielle s'allonge tandis que dans le cas de la fig. 50 elle se raccourcit; mais un avantage de la tête de bielle (fig. 49), c'est que l'assemblage de la bride est indépendant de la clavette qui opère le serrage des coussinets.

L'emmanchement de la tige du piston avec sa tête se fait au moyen d'une douille clavetée avec elle (fig. 48 et 53). En A vient s'assembler la bielle. Les boulons de serrage *g* ont pour effet d'agir sur les coins pour les empêcher de sortir.

La fig. 51 donne le détail d'une boîte à huile.

Le tuyau *t* assemblé à vis contient une mèche de coton qui vient

prendre l'huile jusqu'au fond de la boîte et l'amène par un effet de syphon et de capillarité sur la pièce à graisser.

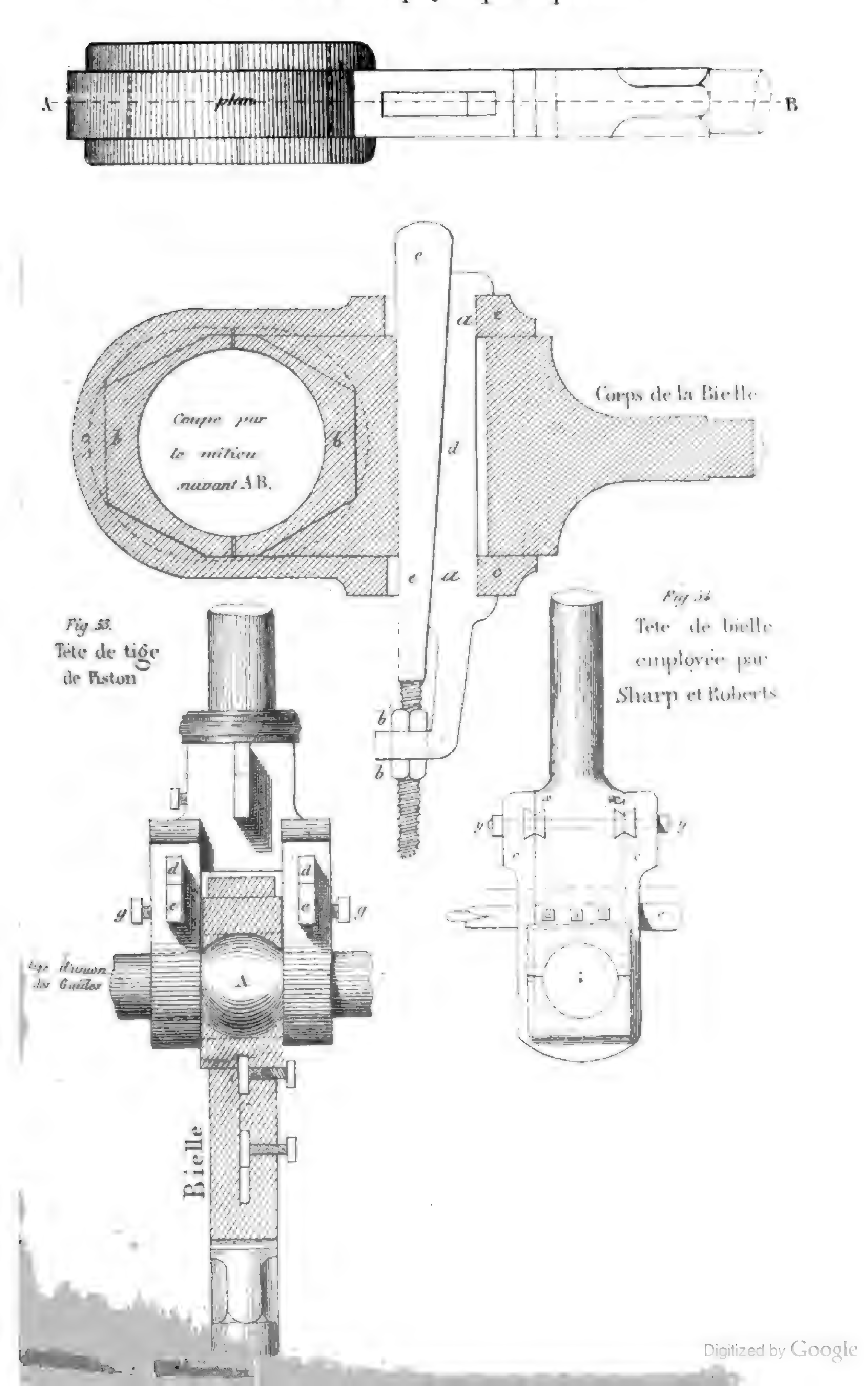
La tête de bielle qui s'assemble avec l'axe coudé a la construction suivante (fig. 52). On voit qu'elle est très peu différente de l'autre; seulement le moyen de serrage du coussinet sur l'axe coudé est plus sûr et plus régulier puisqu'il suffit de serrer l'écrou *b*, et de desserrer l'écrou *b'* ; la pression exercée sur la face *a* se transmet en *c* qui offre une résistance et force le coussinet *b* à entrer davantage dans le vide destiné à le recevoir et à rapprocher les deux parties qui s'assemblent avec l'axe coudé.

Ce système de clavette n'est pourtant pas sans inconvénient; comme le diamètre de la partie taraudée est forcément réduit à l'épaisseur de la clavette, elle se rompt très souvent en cet endroit : il faut donc bien se garder de négliger l'emploi des vis de pression.

Il est important que dans toutes les pièces de transmission de mouvement, la distance donnée d'axe en axe soit invariable, parce-que les constructeurs, pour donner à leur machine beaucoup de légèreté et peu de volume, ne ménagent que la place strictement nécessaire au mouvement de chacune des pièces; et si la distance des axes changeait, soit par un allongement de la bielle ou autrement, le piston rencontrerait dans son mouvement le couvercle du cylindre quand le piston serait à la fin de sa course. On ne peut obtenir cette longueur constante de la bielle qu'en calant les coussinets à mesure qu'ils diminuent d'épaisseur par l'usure.

La tête de bielle adoptée par Sharp et Roberts est bien préférable à celles des autres constructeurs et mérite une description détaillée (fig. 54).

La bride est assemblée avec le corps de la bielle par les deux pièces en queue d'hironde *x* traversée par le boulon *y*. Le serrage se fait au moyen de la clavette *e* qui est retenue par trois vis de pression. On voit que le constructeur a pris toutes les précautions nécessaires pour que la bride ne puisse se détacher de la bielle, et qu'il a réuni ces deux pièces comme si elles ne faisaient qu'un seul corps. La séparation de la bride avec la bielle arrive en effet trop fréquem-


Fig. 52.
Tête de bielle employée par Stephenson
A
plan
B
Coupe par le milieu suivant AB.
Corps de la Bielle
Fig. 53.
Tête de tige de Piston
A
Bielle
Fig. 54
Tête de bielle employée par Sharp et Roberts

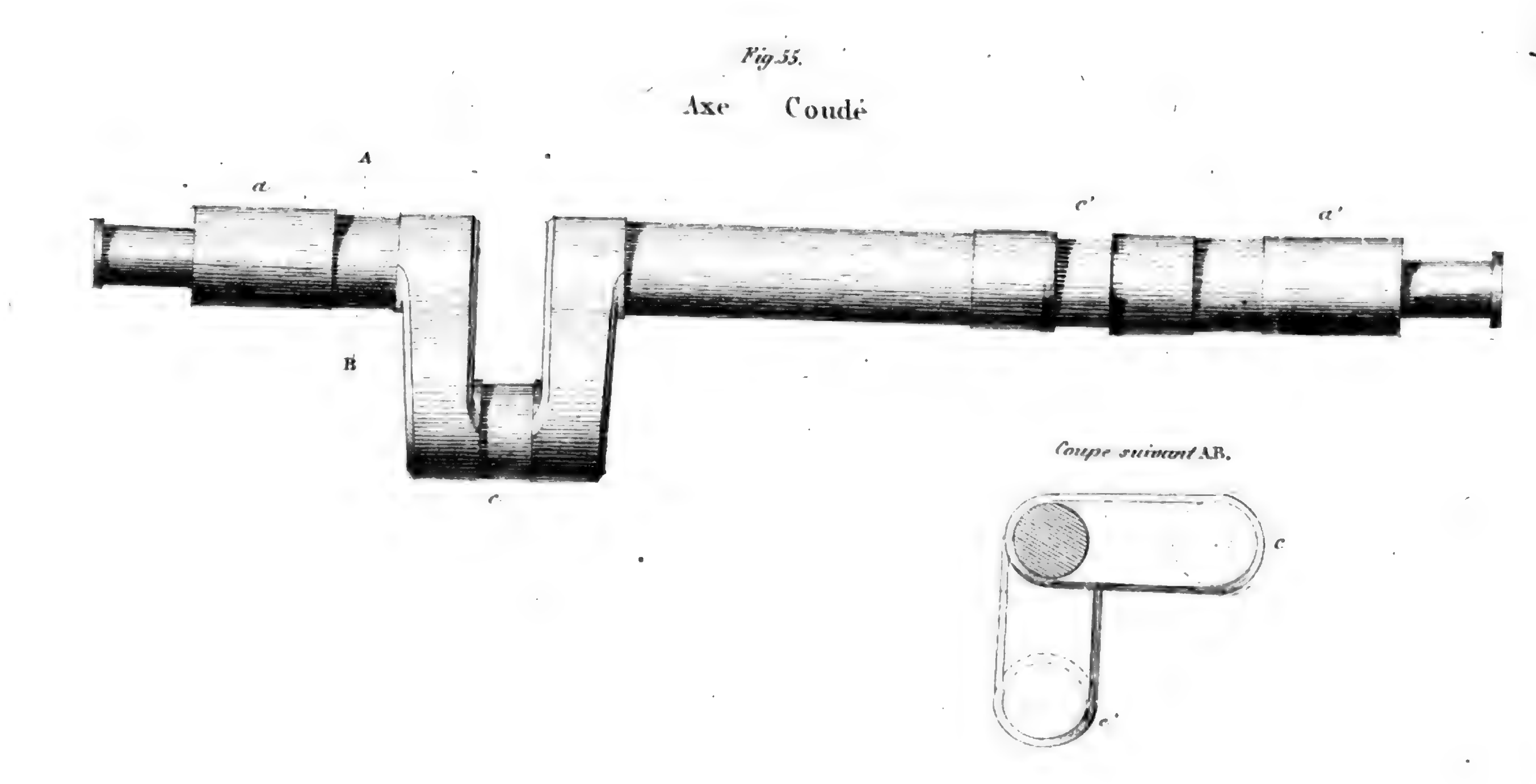


Fig. 55.

Axe Coudé

ment quand ces pièces ne sont retenues que par des clavettes, pour peu que le mécanicien ne soit pas attentif à les tenir serrées; il en résulte dans ce cas des accidens très graves, car le piston se trouvant libre va heurter le fond du cylindre avec toute l'impulsion qu'il reçoit de la vapeur, de sorte que le piston, les couvercles et le cylindre lui-même peuvent être brisés. C'est ainsi que le piston de la Jackson et les cylindres de deux machines de Tayleur ont été brisés par la chute de la clavette et ensuite de la bielle elle-même. Un autre avantage de cette bielle, c'est que, le coussinet extérieur étant carré, les cales qu'on est obligé de mettre derrière à mesure qu'il s'use tiennent mieux, et dans aucun cas le coussinet ne peut tourner dans la bride.

A l'assemblage de la tête de bielle, sur l'axe coudé le tourillon en frottement est sphérique, comme celui de l'autre extrémité, afin de soulager la bielle dans les mouvemens de torsion dont il a été question ci-dessus.

34. De l'axe coudé. — Il est d'une seule pièce en fer forgé, corroyé; il a environ 2 mètres de longueur et 0,12 à 0,13 de diamètre et est cylindrique. Les coudes *c c'* sur lesquels viennent s'assembler les deux bielles, correspondant à chacun des pistons, ont 0,20 à 0,23 de longueur environ, ils sont exactement à angle droit. Sur les parties *a a'* sont calées les roues de manière à tourner en même temps et dans le même sens que l'axe. Au-delà des roues l'axe diminue de diamètre et est réduit environ à 0,11 sur une longueur de 0,12 environ, terminé à l'extrémité par un collet. Ces parties ou fusées tournent dans des boîtes en bronze sur lesquelles repose la machine. L'arbre coudé est tourné suivant toute sa longueur.

Au moment où le piston reçoit l'impression de la vapeur, d'un côté il transmet cette pression à l'axe coudé au moyen de sa tige et de la bielle: or, le piston ayant environ 0,30, de diamètre, sa surface est 0,07 mq.; et la pression étant de 3k,90 par centimètre carré ou 39,000 k. par mètre carré, on aura pour la pression exercée sur le piston 2,730 kil.: or, comme les cylindres et l'arbre

coudé sont maintenus invariablement à une distance fixe, la force qui tend à les rapprocher ou à les éloigner est tout entière employée à faire tourner l'axe et les roues, ce qui produit la locomotion. La disposition d'équerre suffit d'ailleurs pour faire passer les points morts, c'est-à-dire qu'au moment où la manivelle est horizontale et suivant l'axe de l'un des pistons pour l'un des cylindres, l'autre est verticale et perpendiculaire par conséquent à la tige de l'autre piston qui est alors dans la meilleure position pour recevoir le mouvement.

Les diverses positions que doivent prendre les bielles donnent des frottemens sur les guides du piston pendant qu'elles sont obliques, le frottement horizontal étant presqu'insensible puisqu'il n'est produit que par le poids de la bielle. On doit faire les bielles aussi longues que possible, afin de diminuer ces frottemens, car plus leur longueur est grande, plus l'angle qu'elles font avec l'horizon est petit, et moins les frottemens sont énergiques.

35. Du mouvement de déplacement de la machine. — Le déplacement de la machine résultant du travail de la vapeur transmise à l'axe coudé n'aurait pas lieu sans l'adhérence des roues sur les rails; cette adhérence est proportionnelle au poids de la machine et est une fraction de ce poids. Si le poids à remorquer est plus considérable que cette fraction, l'adhérence est vaincue, la locomotion n'est pas produite et les roues tournent sur les rails sans mouvement de translation (voir la note 2). Disons d'ailleurs que cet effet arrive rarement en pratique, et que l'adhérence suffit presque toujours; s'il arrive quelquefois que les roues tournent sans faire marcher la machine, ce n'est qu'au moment de la mise en train, parce que l'on a alors à vaincre l'inertie du convoi: le moyen d'obvier à cet inconvénient, c'est de diminuer l'ouverture du régulateur; de cette manière on réduit la pression sur le piston. On emploie quelquefois le moyen suivant pour mettre en mouvement le convoi, quand on craint que la force de la machine ne soit pas assez considérable; on rapproche tous les wagons les

uns des autres, de cette manière les chaînes ne sont plus tendues, et la machine, pour se mettre en train, n'a à vaincre l'inertie de chacun des wagons que les uns après les autres, en sorte que déjà elle est lancée quand tout le poids à remorquer lui est attelé. L'adhérence des roues n'est pas toujours la même: elle est plus grande quand les rails sont bien propres, et quand ils sont tout-à-fait secs ou tout-à-fait humides; elle est moindre quand les rails sont sales et légèrement mouillés.

On a trouvé que l'adhérence des roues sur les rails est environ le septième du poids qu'elles supportent quand les rails sont en bon état, et varie dans la pratique, suivant Stephenson, entre cette limite et un dixième ou un douzième; dans certain cas cette limite extrême peut aller jusqu'au quinzième. Le poids, toujours considérable, qui existe sur les roues motrices est motivé par la forme des machines, il est en outre nécessaire afin de produire une adhérence en rapport avec la pression maximum de la vapeur. Aussi toutes les machines (voir note 2) travaillant à quatre atmosphères effectives doivent avoir une adhérence variant de 1/6 à 1/7 pour que les roues ne glissent pas.

Quand on fit les premières locomotives, on pensa que l'adhérence des rails ne suffirait pas pour les faire marcher et on employa divers moyens pour transformer le mouvement de rotation en un mouvement rectiligne continu; ce furent d'abord des leviers qui se mouvaient comme deux jambes en arrière de la machine, ensuite on se servit de roues d'engrenage fixées sur l'axe moteur et se mouvant sur une chaîne sans fin ou sur des crémaillères.

Dans les machines à marchandises on accouple les deux roues par une bielle munie de coussinets en bronze; de cette manière les deux axes reçoivent le mouvement des pistons, et l'adhérence est plus considérable puisqu'elle est fonction du poids et que les quatre roues motrices supportent dans ce cas la presque totalité de celui de la machine, tandis que dans le cas des machines servant au transport des voyageurs, les deux roues motrices supportent un peu moins de la moitié du poids de la machine. Dans

le cas où les roues sont accouplées, il faut que le cylindre soit incliné pour que la tige du piston passe sous l'essieu de devant; il faut aussi que les roues soient exactement du même diamètre, parce que sans cela le chemin parcouru par l'une, à chaque tour de roue, ne serait pas égal au chemin parcouru par l'autre, et il y aurait glissement sur les rails. Cette condition de l'égalité des diamètres est difficile à remplir d'une manière parfaitement rigoureuse, parce que le frottement use inégalement les deux roues, en raison surtout de l'inégalité de dureté du fer dont elles sont faites; en outre les bielles sont sujettes à des chocs très violens et se cassent souvent soit par l'usure, soit par le grippement des coussinets : la rupture de la bielle a quelquefois l'inconvénient de faire sortir la machine des rails en arc-boutant sur le chemin; aussi a-t-on cherché d'autres manières d'augmenter l'adhérence par la liaison des quatre roues. Le moyen employé a été de mettre entre les deux roues motrices un rouleau retenu tangentiellement à chacune d'elles, à l'aide d'un piston recevant dans son cylindre la pression de la vapeur de la chaudière; le frottement exercé par ce rouleau sur les deux roues les rend solidaires, en sorte que le moteur s'exerce également sur les deux paires de roues, et l'adhérence est une fonction de la totalité du poids de la machine au lieu de n'être fonction que de la moitié, comme dans le cas où deux roues sont seules motrices.

La principale différence qui existe entre les machines pour les voyageurs et celles pour les marchandises consiste, comme on le voit, dans l'augmentation d'adhérence qu'on s'applique à donner à ces machines pour que le poids remorqué puisse être augmenté, sans que les roues glissent sur les rails.

On a essayé d'éviter l'emploi des axes coudés qui coûtent fort cher, à cause de la perfection qu'ils exigent en raison des grands efforts de traction et de pression qu'ils ont à supporter. On a mis les cylindres hors de la boîte à fumée sur le châssis, mais la condensation de la vapeur est très considérable et la puissance de la machine est diminuée. Cette disposition des cylindres a

Fig. 56.

Excentrique employé par Stephenson

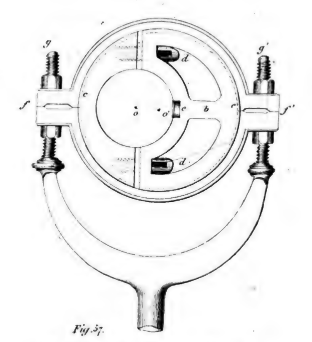
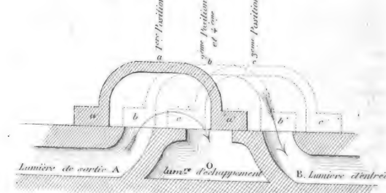


Fig. 57.

Vue des quatre positions d'un tiroir



été adoptée sur le chemin de Londres à Greenwich [1], pour économiser de la place en dessous de la machine, et permettre d'y placer le combustible et l'eau, mais cela ne peut convenir que pour de très petites distances. Il semble qu'on doive s'en tenir aux dispositions précédentes généralement adoptées par les constructeurs.

36. Des tiroirs et de leur mouvement. — Nous avons dit que le mouvement de va-et-vient du piston était causé par la distribution de la vapeur en avant et en arrière du piston ; cette distribution doit être elle-même produite par un mouvement de va-et-vient imprimé aux tiroirs. Ce mouvement est effectué à l'aide d'un appareil nommé excentrique, placé sur l'axe des roues motrices et participant à son mouvement de rotation. Cet appareil (fig. 56) n'a pas le même centre que l'arbre coudé. Le centre de celui-ci est o, le centre de l'excentrique est o', la distance oo' est ce qu'on appelle l'excentricité. Les deux parties *b* et *c* sont en fonte ; elles sont circulaires, et fixées entre elles au moyen de deux boulons à clavette *dd*. Ce cercle est muni d'une gorge que recouvrent deux demi-frettes circulaires en cuivre *ff'* nommées collier, boulonnées et réunies ensemble par deux oreilles. Les trous de boulon reçoivent les tiges *g g'* qui communiquent à un levier conduisant la tige des tiroirs. De cette manière le mouvement circulaire de l'arbre coudé fait passer le grand rayon de l'excentrique deux fois suivant l'axe du tirant, et donne, par conséquent, aux tiroirs deux fois la position extrême en transformant le mouvement de rotation en mouvement de va-et-vient. — Les quatre positions extrêmes du tiroir sont données dans les fig. 57 et 58. La position *aa'* correspond au moment où le grand rayon de l'excentrique est horizontal en avant de l'axe des manivelles si le mouvement se transmet directement, et en arrière si la transmis-

[1] Toutes les machines du chemin de fer de Dublin à Kingstown ont les cylindres en dehors du cadre. Le chemin parcouru, il est vrai, n'est que de deux lieues.

sion a lieu au moyen d'un axe intermédiaire à point fixe, comme l'indique la figure 58. La seconde position des tiroirs *b b'* correspond à une position verticale du grand axe de l'excentrique, la manivelle étant horizontale. La troisième position *c c'* correspond à une nouvelle position horizontale de l'excentrique. Enfin, dans la quatrième position qu'affectent les tiroirs, l'excentrique les ramène en *b b'*, comme dans la seconde, et la position de l'excentrique et de la manivelle est donnée en *d d'* (fig. 58)[1].

Si maintenant on observe les chemins parcourus par la tige du piston à chaque demi-révolution de la manivelle, on fera les remarques suivantes (fig. 59).

Quand la manivelle est horizontale, par exemple en *o a*, le piston est à l'extrémité de sa course; pendant la course de la manivelle de *o a* à *o c*, le piston parcourt à peu-près la moitié ou exactement les onze vingtièmes de sa course; enfin la manivelle parcourant le deuxième quadrant et venant ensuite s'appliquer suivant la position *o e*, le piston accomplit la deuxième moitié, soit les neuf vingtièmes de sa course, et va à l'autre extrémité du cylindre; le même effet est produit mais en sens inverse pendant que la manivelle parcourt la demi-circonférence inférieure et revient dans la position *o a*; on peut donc conclure que la manivelle passant de l'horizontale à l'horizontale le piston parcourt une course entière en marchant dans un certain sens, en arrière si la manivelle passe de *o a* à *o e*, et en avant si elle passe de *o e* à *o a*.

Si au contraire la manivelle est verticale en *o c*, le piston est presqu'au milieu de sa course, et la manivelle en passant à la position horizontale *o e*, l'amène à l'extrémité du cylindre, puis en redevenant verticale en *o c'*, la manivelle ramène le piston presqu'au milieu de sa course en lui imprimant un mouvement opposé au premier; l'effet est symétrique et inverse pour l'autre demi-circonfé-

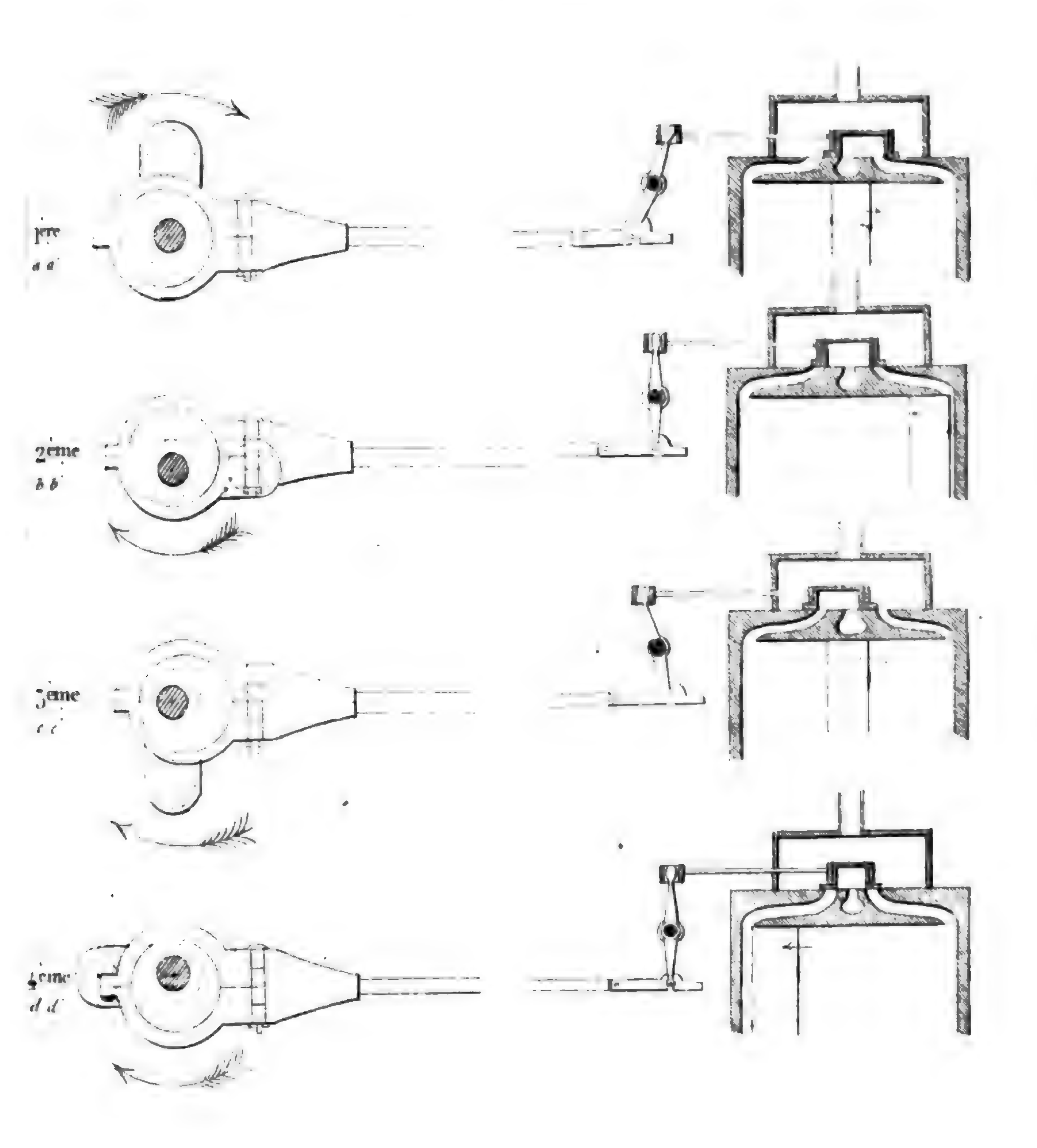
[1] Quand nous parlerons de l'avance des tiroirs (39), nous verrons que, pour l'axe de l'excentrique, les positions horizontale et verticale ne se correspondent pas parfaitement.

P. 92.

Fig. 58.

Coupes des quatre positions des tiroirs et de l'Excentrique pour un tour de rou

Marche en avant



rence; ainsi la manivelle en passant de la verticale à la verticale fait parcourir au piston deux demi-courses dans deux directions opposées, les distances parcourues étant égales dans les deux cas. En suivant la même série d'idées on fera les mêmes observations sur les mouvemens des tiroirs par rapport à ceux du piston. En effet, l'excentricité étant perpendiculaire à l'axe de la manivelle ; quand celle-ci sera horizontale et tendra à faire parcourir au piston les plus petits espaces dans le même temps, l'axe de l'excentrique sera vertical et tendra à faire parcourir aux tiroirs les plus grands espaces, en sorte que pendant que la manivelle passera de la position *o a* à la position *o e*, et fera accomplir une course entière au piston en passant de l'horizontale à l'horizontale, l'excentrique passera de la verticale à la verticale et fera accomplir aux tiroirs deux demi-courses, l'une en avant, l'autre en arrière : or pendant que la manivelle parcourt le premier quadrant *o a c*, les distances parcourues par le piston vont en augmentant; et pendant le même temps l'excentrique parcourant le quadrant *o f h*, les distances parcourues par le tiroir vont en diminuant, en sorte que les plus grandes vitesses du piston correspondent aux plus petites vitesses des tiroirs.

La plus grande vitesse du piston ayant lieu quand sa manivelle est verticale, ce sera le moment où l'excentrique sera horizontal et mènera le tiroir le plus lentement; mais comme le tiroir aura déjà accompli la plus grande partie de sa course ; la lumière d'introduction étant presque complétement découverte, il importe qu'il reste ainsi, afin que la vitesse que prend la vapeur dans la partie de la lumière en communication avec la chambre de vapeur suffise pour établir dans le cylindre la pression de la chaudière.

Résumons maintenant les mouvemens relatifs du piston et des tiroirs.

Un excentrique et une manivelle placés d'équerre sur un axe engendrent deux mouvemens rectilignes différens. La manivelle en passant de l'horizontale à l'horizontale imprime au piston un mouvement rectiligne dans un même sens, et, dans le même

moment, l'excentrique en passant de la verticale à la verticale imprime aux tiroirs deux mouvemens rectilignes dans deux sens opposés.

Pendant que le piston accomplit le premier de ces mouvemens, le tiroir accomplit les deux autres; il va et revient sur lui-même : la lumière qu'il couvrait se découvre et se recouvre successivement.

Quand au contraire le piston accomplit deux demi-cercles en sens opposé, les tiroirs affectent un mouvement rectiligne dans le même sens.

Enfin pour chacun de ces mouvemens pendant que les vitesses du piston vont croissant, celles du tiroir vont décroissant, et réciproquement.

37. Des mouvemens de la manivelle. Nous venons de faire comprendre que le maximum du chemin parcouru par la tige du piston correspond au minimum du chemin parcouru par les tiroirs. Cela dépend seulement de ce que l'axe de la manivelle est perpendiculaire à l'axe de l'excentrique. On peut d'ailleurs s'en rendre compte par la figure géométrique qui donne les positions relatives de ces deux appareils pendant une demi-révolution de la manivelle : il est d'ailleurs évident que ces positions se répètent mais en sens inverse dans l'autre demi-révolution.

Supposons la manivelle dans la position *o a* (fig. 59), et soit *a a'* la longueur de la bielle : quand la manivelle est arrivée en *o b*, la bielle prend la position *b b'*, et la distance parcourue par l'axe moteur est proportionnelle à la distance *a' b'*; quand la manivelle est en *o c*, la bielle a pris la position *c c'*, et la distance parcourue est proportionnelle à la droite *b' c'*; on voit par les lignes même de la figure que les distances parcourues vont en augmentant, et il est évident que cette progression s'observerait également, si, au lieu de ne prendre que trois positions, nous en avions pris un nombre infini, et si nous avions fait varier ces distances par degrés insensibles; on reconnaîtra de la même manière que la manivelle passant successivement par les positions *o c*, *o d*, *o e*, la

Fig. 59.

Mouvements relatifs de la tige des Pistons et de celle des Tiroirs

bielle passe par les droites $c\,c'$, $d\,d'$, $e\,e'$, et que les distances parcourues sont proportionnelles aux droites $c'\,d'$, $d'\,e'$, qui vont, comme on le voit, en diminuant.

Donc, quand la manivelle passe de l'horizontale à la verticale, les distances parcourues par le piston vont en augmentant; au contraire, en passant de la verticale à l'horizontale, la manivelle fait parcourir au piston des distances qui vont en diminuant: en sorte qu'à la position verticale de la manivelle correspond le plus grand espace parcouru par le piston, et à la position horizontale le plus petit.

Quant à l'excentrique, supposons son centre en f, et la tige de transmission attachée en ce point, ce qui est exactement comme si l'on faisait varier la position de l'excentrique lui-même. Pendant que la manivelle sera horizontale, le grand rayon de l'excentrique sera vertical (en supposant que nous négligions la petite déviation qu'il devrait prendre en avant pour former l'avance du tiroir); alors la tige de transmission sera suivant la ligne droite ff'; à la position $o\,b$ de la manivelle correspond celle du grand rayon de l'excentrique $o\,g$, et la tige de transmission est en gg', la distance parcourue par le tiroir est proportionnelle à $f'g'$ ou à $f''g''$ ou égale à la projection $f'''g'''$; quand la manivelle est en c, l'excentricité est en $o\,h$, la tige de transmission en hh', et la distance parcourue par le tiroir est proportionnelle à $g'h'$ ou à $g''h''$, ou égale à $g'''h'''$; enfin quand la manivelle parcourt le quart de cercle $o\,c\,e$, l'excentricité parcourt le quart de cercle $o\,h\,i$, et les points extrêmes de la tige de transmission passent de nouveau par les points $h'g'f'$. On voit donc d'une manière évidente, et par la figure même, que pendant que les espaces parcourus par la tige du piston vont croissant, les espaces parcourus par la tige des tiroirs vont en diminuant, et réciproquement dans le même rapport; en sorte que quand l'axe des manivelles et l'axe de l'excentrique sont à angle droit, le plus petit espace parcouru par l'une correspond au plus grand espace parcouru par l'autre, et réciproquement.

Cette marche inverse, sur laquelle nous avons insisté beaucoup, est motivée, comme nous l'avons dit, par l'obligation de changer

rapidement la distribution quand le piston passe au point mort et change de mouvement, et de laisser au contraire le tiroir presque immobile et les ouvertures aussi grandes que possible quand le piston agit efficacement et marche à sa plus grande vitesse.

38. Des mouvemens relatifs des deux manivelles et des deux excentriques.— Examinons maintenant la position relative qu'affectent les deux manivelles et les deux excentriques (fig: 60), après avoir observé comment un excentrique et sa manivelle se comportent l'un par rapport à l'autre (fig. 59). A et B donnent les positions relatives des deux manivelles. A' et B' représentent les positions relatives des deux excentriques; l'excentrique de la figure A' correspondant à la manivelle A, et l'excentrique de la figure B' à la manivelle B. Les figures font d'ailleurs comprendre d'une manière suffisante ces mouvemens relatifs. — Nous avons dit et l'on sait qu'une manivelle ne transmet pas un mouvement uniforme; elle passe par des points morts que l'on ne parvient à vaincre dans les machines fixes qu'à l'aide d'un volant. Quand sur le même axe il y a deux manivelles, on les met à angle droit afin que pendant que l'une passe par son minimum de vitesse, l'autre passe par son maximum; mais on aurait tort de croire que le mouvement est ainsi régularisé. Il y a un moment où la vitesse est maximum, c'est lorsque les deux manivelles sont inclinées à l'horizon sous un angle de 45°. En effet, soient OA et OB (fig. 61) les deux manivelles à angle droit, la position OA', OB' correspondra au plus grand espace parcouru. En effet, les distances parcourues par chaque manivelle peuvent être représentées par les projections de son rayon sur l'horizontal; donc les distances parcourues par les deux manivelles OA', OB', seront égales à deux fois la droite OC : or on sait que la droite OA' étant à 45°, les deux angles OA'C et COA' sont égaux : donc les côtés OC et CA' sont

[1] La pression de la vapeur sur le piston étant constante, l'action motrice est proportionnelle à l'espace parcouru ou à la vitesse : plus cette vitesse combinée sera grande et plus la traction des roues sera énergique.

Fig. 60.

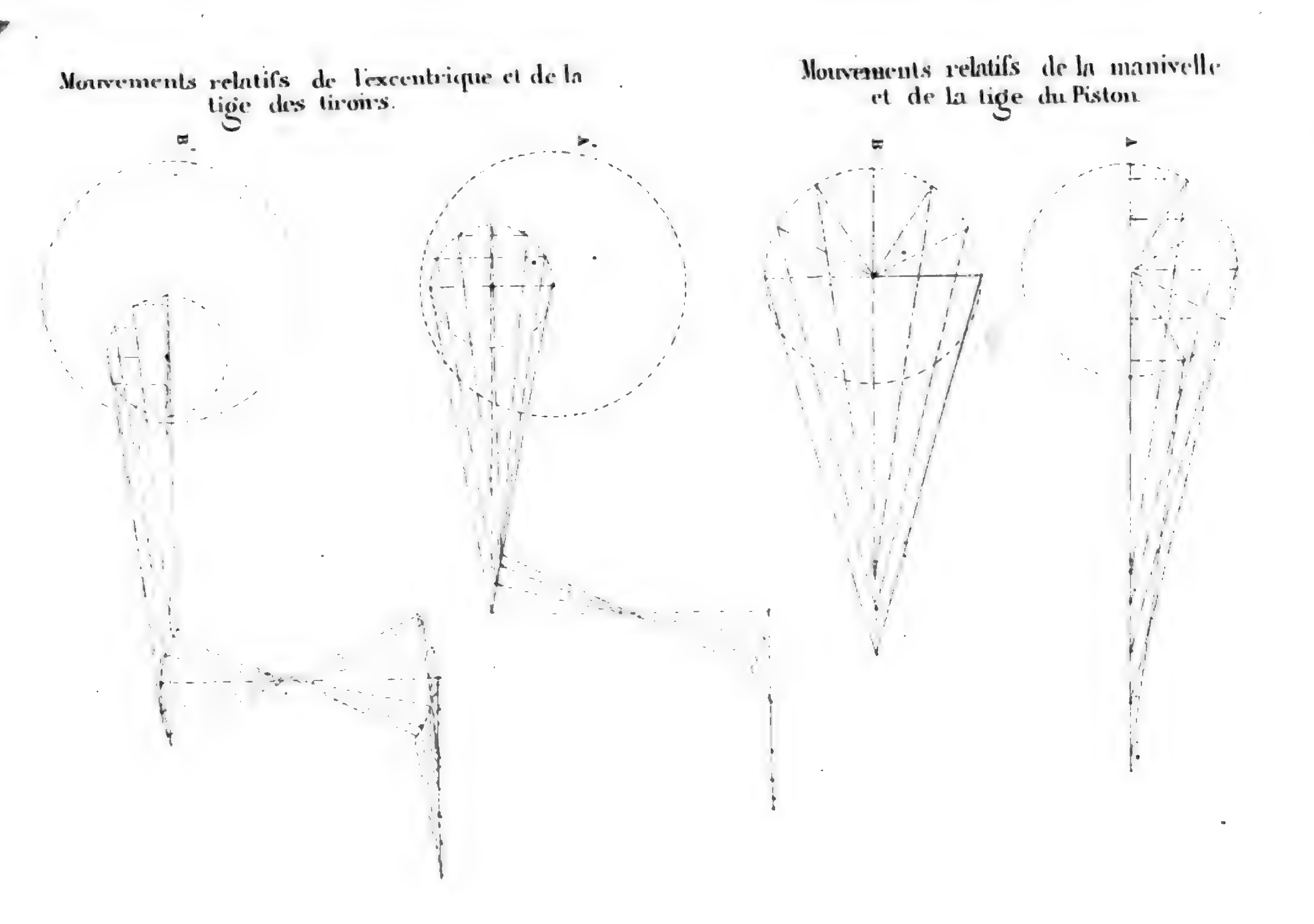
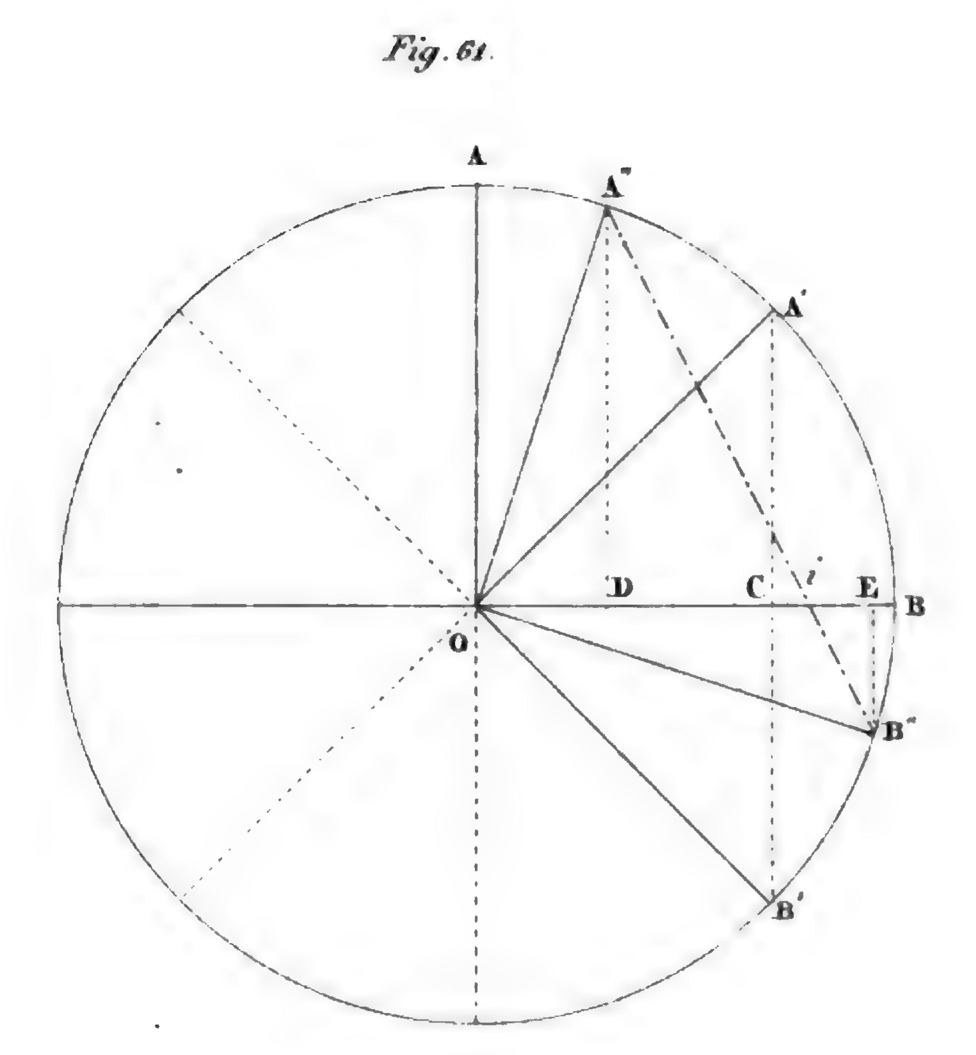

Mouvements relatifs de l'excentrique et de la
tige des tiroirs.
B'
A'
Mouvements relatifs de la manivelle
et de la tige du Piston
B
A

Fig. 61.



égaux. Il suffit donc de démontrer que A'B' est plus grand que la somme de projection des deux manivelles, dans quelque autre position qu'elles soient. D'abord, cela est évident, dans le cas où l'une est horizontale et l'autre verticale, car alors la somme des projections est égale au rayon, et il est évident que dans le triangle OCA' la somme des deux côtés OC CA' est plus grande que le troisième. Prenons une position quelconque, OA'' OB'' : la somme des deux projections ou les chemins parcourus OD, OE, sera plus petite que A'B' ; en effet, OE=A''D et OD=EB'', joignons le point A'' à B'' A''B''=A'B', et il est évident d'ailleurs que les deux obliques A'' i+B'' i so t plus grandes que les deux perpendiculaires à la même droite B''E+A''D. Il est donc démontré que la position OA' OB' des deux manivelles donne le maximum des chemins parcourus par les tiges rectilignes horizontales qu'elles conduisent.

Il est en outre évident puisque la somme des projections O D, O E, est plus grande que le rayon, que dans la position horizontale et verticale des deux manivelles la somme des distances parcourues est minimum. Les vitesses passent de ce maximum à ce minimum par degrés insensibles.

Cette variation de vitesse fait éprouver à la machine des soubresauts et des irrégularités qui sont sensibles quand la machine se met en train; mais comme le poids remorqué est considérable, il forme volant et régularise complétement le mouvement.

Quant aux vitesses relatives des deux manivelles et des deux excentriques, elles sont exactement les mêmes que celles que nous avons fait observer pour une manivelle et son excentrique.

De même que les mouvemens lents des tiroirs correspondent aux mouvemens rapides des pistons, de même les grandes vitesses de l'un des pistons correspondent aux mouvemens lents de l'autre, et réciproquement pour les excentriques.

39. De l'avance du tiroir. — Nous avons indiqué précédemment qu'au point mort de la manivelle, c'est-à-dire quand son rayon se confond avec l'axe des cylindres, les tiroirs devaient être

au milieu de la course, et, par conséquent, que l'excentrique devait être calé d'équerre sur la ligne d'axe de la barre d'excentrique. Dans les machines locomotives on a reconnu la nécessité de déroger à cette règle en inclinant le rayon d'excentrique légèrement en avant, de manière à ce qu'au point mort, le tiroir ait déjà dépassé le milieu de la course. La quantité dont il dépasse le point milieu s'appelle *avance du tiroir.*

Le but de cette modification à la distribution est d'augmenter la *puissance* des machines en leur permettant de conduire les mêmes trains à une plus grande vitesse.

Si, maintenant, on considère un train au moment du départ, ou sur un point du chemin de fer où il faut faire usage de la pression entière de la vapeur et par conséquent aller fort lentement, les effets de l'avance du tiroir sont de diminuer la puissance de la machine; mais ce cas est tout-à-fait exceptionnel, ce n'est pour ainsi dire qu'une position d'équilibre; il faut considérer les machines en marche et à leur vitesse normale, il faut les considérer avec leur pression réduite sur les cylindres, et alors s'il est prouvé qu'avec le même train, la même machine acquiert une plus grande vitesse quand elle a de l'avance du tiroir, il est évident que sa puissance est augmentée et qu'elle pourrait remorquer à la même vitesse que précédemment une charge plus considérable.

L'avance du tiroir a été presque exclusivement appliquée aux machines de voyageurs, qui doivent atteindre au moins la vitesse de 8 lieues et marcher même à 10, 12 et 15 lieues à l'heure.

Les expériences et les calculs nécessaires pour rechercher les effets de l'avance du tiroir doivent donc être faits pour les grandes vitesses.

Quand les tiroirs n'ont pas de disposition particulière, c'est-à-dire qu'ils ne présentent qu'un recouvrement presque nul, les effets de l'avance sont d'ouvrir prématurément la lumière d'échappement et la lumière d'introduction.

La vapeur ainsi commence à s'échapper avant que le piston ait terminé sa course, et la vapeur de la chaudière vient également

appuyer sur le piston en sens inverse du mouvement. Ainsi, au premier coup-d'œil, il y a une marche à contre-vapeur qui doit diminuer la puissance de la machine et réduire en effet la charge qu'elle peut remorquer; c'est ce qui a lieu, et les expériences de M. de Pambour, faites sur les plans inclinés du chemin de fer de Liverpool, avec des avances de $^1/_8$ et de $^5/_8$ de pouce anglais, ont tout-à-fait confirmé ce fait; des trains qui s'arrêtaient avec l'avance de $^5/_8$ étaient remis en mouvement avec l'avance de $^1/_8$. En repos, l'avance a donc pour effet de diminuer la puissance de la machine; mais quand la vitesse devient considérable, le temps modifie complétement les résultats, comme nous allons le démontrer.

Pour apprécier les avantages de l'avance du tiroir, il faut dire les inconvéniens de la distribution ordinaire de la vapeur quand l'avance n'existe pas. En comparant les surfaces de section des lumières avec les espaces successifs parcourus par le piston, on trouve que le rapport des vitesses est en général de 1 à 10; si on tient compte de la contraction et de la vitesse irrégulière du piston, on trouve que la vitesse d'écoulement de la vapeur est, au maximum, de 70 à 80^m par 1'' pour une marche de 16 lieues à l'heure. Toute vitesse a une pression initiale: en recherchant celle qui est nécessaire pour produire cette dernière, nous trouvons qu'un cinquantième d'atmosphère suffirait. La différence de tension entre le cylindre et la conduite principale de vapeur est donc insignifiante, et, fût-elle plus considérable, elle ne nuirait pas, puisqu'à grande vitesse la génération de la vapeur dans la chaudière ne suffit qu'à entretenir une tension réduite dans le cylindre, et qu'il y a toujours un étirage par le régulateur. Le second étirage qui aurait lieu par la distribution n'aurait aucun effet, puisqu'on le corrigerait en ouvrant un peu plus le régulateur.

En étudiant ensuite l'écoulement de la vapeur à la sortie, la question se présente d'une manière toute différente. Avant d'arriver à l'écoulement constant de 80^m de vitesse au maximum, et qui n'offre que très peu de résistance, comme nous venons de le dire, il est nécessaire de laisser sortir toute la vapeur qui maintient

la pression élevée. Il faut alors dans les premiers momens de la course que cette quantité de vapeur considérable s'écoule presque instantanément, sinon elle crée au-devant du piston une résistance d'abord fort considérable et qui décroît plus ou moins rapidement, suivant le temps qu'on lui donne pour s'échapper. On comprend que si les coups de piston sont extrêmement précipités, la vapeur mette quelquefois un tiers du temps total de la course à s'écouler; c'est ce qui arrive à la vitesse de 16 lieues à l'heure, en supposant, il est vrai, le cylindre plein de vapeur à 2^{at} 75 de pression effective. L'effet de cette résistance a pour mesure la pression à chaque instant multipliée par le chemin parcouru par le piston, et, dans le cas déjà cité, le piston a parcouru $^3/_{10}$ de la course avant d'être débarrassé de cette pression en excès; et en calculant la résistance moyenne produite, on trouve qu'elle correspond à plus d'un quart d'atmosphère!

A de grandes vitesses la résistance produite par les lumières d'échappement est donc fort considérable.

C'est pour diminuer cette résistance que l'on donne de l'avance au tiroir: l'échappement dure le même temps, mais au commencement la pression qu'il maintient est employée à agir dans un sens convenable sur le piston; et quand celui-ci revient l'ouverture d'échappement est déjà grande, la vapeur est en partie détendue et elle ne se maintient que pendant une fraction beaucoup moins grande de la course du piston.

On diminue ainsi dans une forte proportion les résistances produites à l'échappement par l'écoulement de la vapeur dans la lumière. L'inconvénient principal de la marche sans avance est ainsi éludé; reste à savoir si cette diminution de résistance n'est pas balancée par d'autres inconvéniens quand on conserve au tiroir la forme ordinaire (c'est-à-dire sans augmenter ses recouvremens de manière à ce que quand l'échappement est ouvert l'entrée de la vapeur de l'autre côté l'est également). La vapeur arrive aussi en sens inverse avant la fin de la course; elle agit alors comme frein contre le piston, et il y a dans ce cas un travail perdu égal à la pression dans la conduite de vapeur multipliée par le chemin parcouru par le piston; comme ce dernier est très petit, le travail

perdu est beaucoup plus faible que l'économie que l'on fait sur la résistance due à l'échappement.

L'ouverture prématurée de la lumière a l'avantage d'amener sur le piston la pression complète de vapeur au commencement de la course; mais cet avantage est complètement insignifiant, puisque nous avons démontré tout à l'heure que dans la marche sans avance il n'y avait aucune perte de force par le rétrécissement des lumières d'introduction.

Enfin, la lumière s'ouvrant plus tôt, se ferme également plus tôt. Cette fermeture prématurée est extrêmement avantageuse parce qu'elle diminue d'autant la dépense de vapeur et qu'elle ne diminue pas le travail; en effet, avec la plus grande avance ($^5/_8$ de pouce) et des tiroirs sans recouvrement, cette vapeur est interceptée seulement à 0,93 de la course; en supposant que la détente s'effectue jusqu'à la fin, le travail ne sera diminué que de 0,003. Ainsi on économise 0,07 de vapeur en perdant seulement 0,003 de travail. La détente, il est vrai, ne s'effectue pas complètement, puisqu'il y a ouverture d'échappement; mais, à grande vitesse, la pression de la vapeur se maintient encore de manière à ne diminuer le travail total du piston que d'une quantité très faible.

En résumé, l'avance du tiroir produit une économie dans la consommation de vapeur en fermant plus tôt l'entrée de vapeur, et une augmentation d'effet utile en diminuant et utilisant même la pression nécessaire pour l'échappement.

L'introduction prématurée de la vapeur n'a que des inconvéniens qui sont, il est vrai, très loin de compenser les avantages précédens, quand la vitesse de marche est considérable, mais qui doivent cependant être évités.

Pour que la vapeur ne s'introduise sur le piston qu'au point mort seulement, il faut que le recouvrement soit égal à l'avance que l'on donne au tiroir. Cette disposition a un autre avantage qu'il ne faut pas négliger, c'est que l'on ferme plus tôt le passage de la vapeur, et que l'on en économise ainsi une partie sans nuire, comme nous l'avons déjà dit, au travail produit, la

pression de la vapeur qui se détend étant, dans le premier instant, aussi élevée que la pression initiale.

Nous avons fait ressortir le but et les avantages de l'avance du tiroir; mais il serait nécessaire de rechercher quelle avance est la plus convenable pour obtenir les meilleurs résultats. Cela dépendra évidemment de la vitesse de marche et de la forme du tiroir lui-même. Il faudrait de plus entrer dans des considérations par trop techniques que nous renvoyons aux notes.

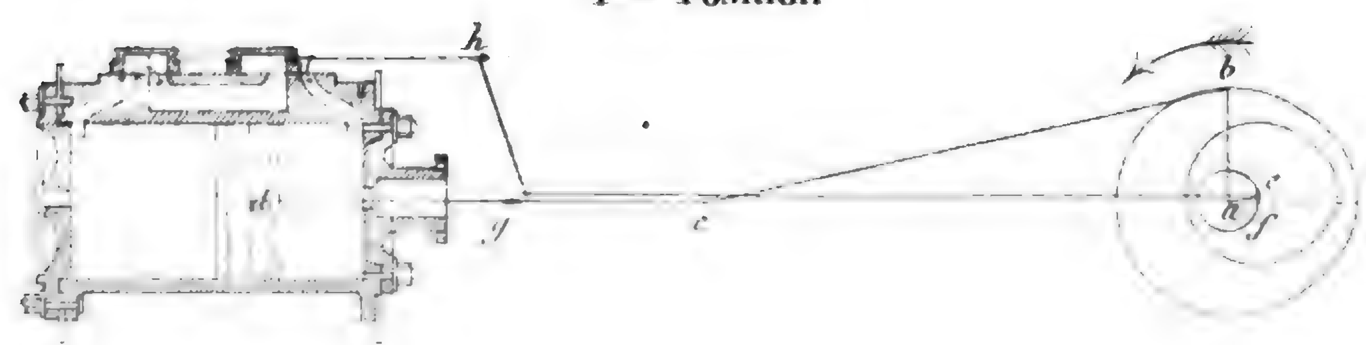
Les constructeurs n'ont pas de règle générale; ils font varier l'avance de $^1/_8$ à $^5/_8$ de pouce anglais ($0^m,003$ à $0^m,015$); le plus ordinairement c'est $^2/_8$ de pouce ou $0^m,006$.

Les motifs de ces différences sont puisées dans les considérations qui précèdent, ainsi que dans le but de compenser par l'avance du tiroir les retards provenant de l'élasticité des pièces de transmission de mouvement des excentriques aux tiroirs, aussi bien que les jeux qui se manifestent par l'usure de ces pièces.

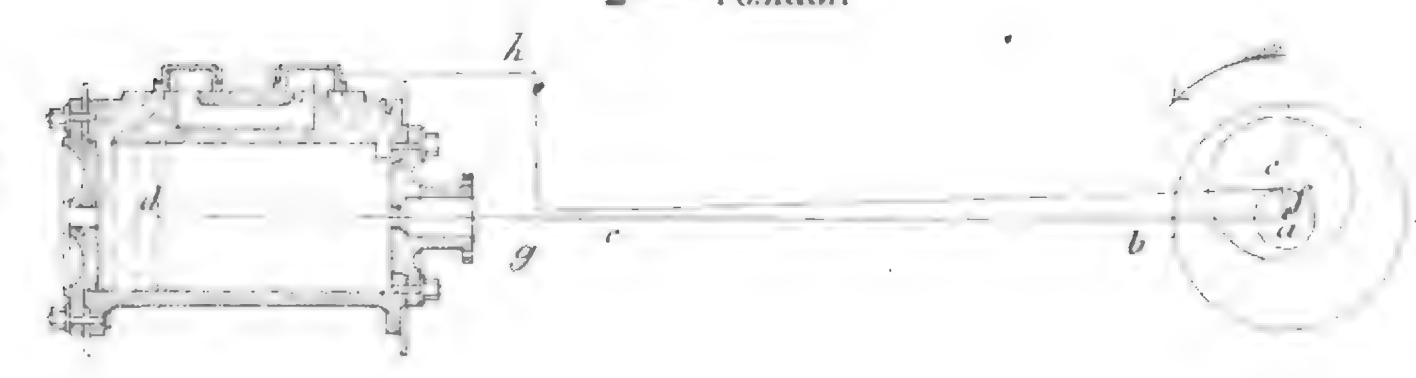
40. Mouvemens relatifs du tiroir et du piston. — Essayons de rendre compte par une figure géométrique des mouvemens relatifs du tiroir et du piston, en adoptant l'hypothèse de l'avance du tiroir telle qu'elle existe généralement. Soit *ab* le rayon de la manivelle (fig. 62), soit *bc* la longueur de la bielle; supposons la manivelle au point *b*: si de ce point comme centre avec un rayon égal à la longueur de la bielle on décrit un arc de cercle, le point *c* où cet arc de cercle rencontrera la tige du piston sera le point où doit se trouver l'extrémité de la bielle; si l'on porte de *c* en *d* la distance qui existe entre l'attache de la bielle et le centre du piston en reportant horizontalement de chaque côté de ce centre *d* la demi-épaisseur du piston, on aura exactement la place que doit occuper le piston en ce moment. Soit *e* le centre de l'excentrique, *ae* sera l'excentricité: pour avoir la position du levier de communication de mouvement *gh* il suffit d'observer que quand le grand axe de l'excentrique sera vertical, ce levier sera aussi vertical; en sorte qu'en prenant la longueur de cet axe de communication dans le cas où le levier est dans une

Fig. 62.

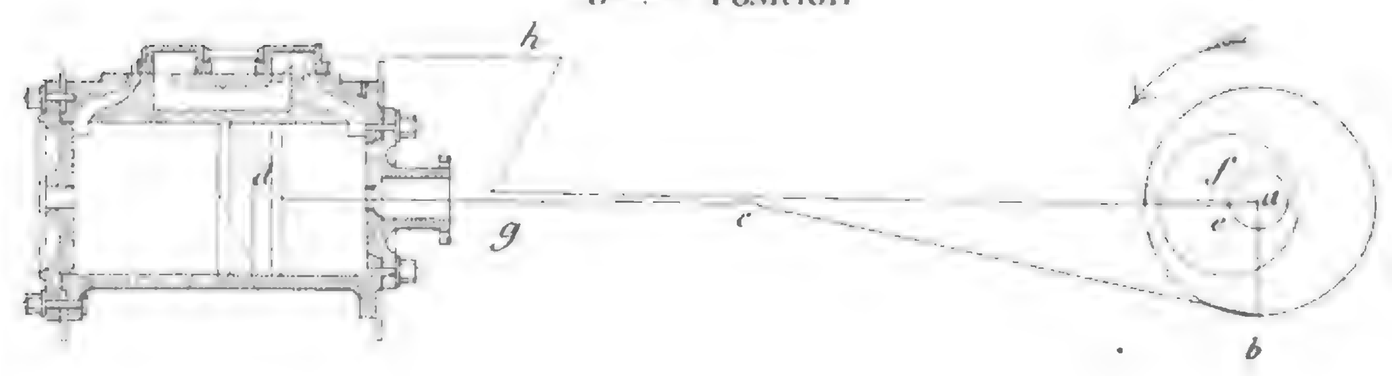
1ère Position



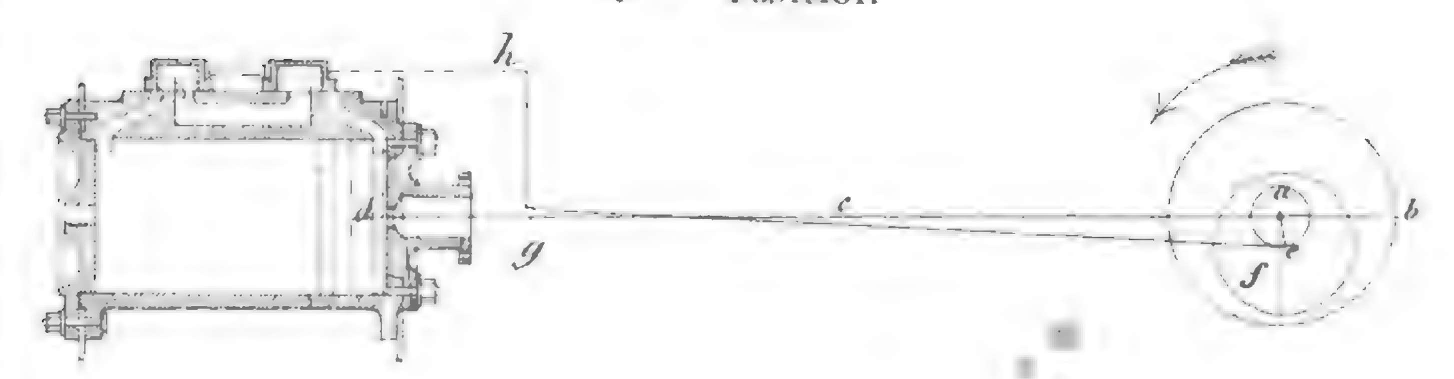
2ème Position



3ème Position



4ème Position



position connue ainsi que l'excentrique lui-même, on aura la longueur *eg* dans le cas où l'excentrique est dans la position de la figure : on voit donc qu'il est facile de fixer chaque ligne.

Si la position de l'excentrique était réglée comme dans les machines fixes, le point *e* et le point *f* se confondraient, et le grand axe de l'excentrique serait exactement perpendiculaire à la manivelle *ab*; mais pour donner l'avance du tiroir on s'arrange de manière à ce que le rayon *ae* atteigne la verticale avant que le rayon *ab* soit horizontal.

Il est d'ailleurs évident, d'après ce que nous avons dit, que dans le cas où l'orifice d'échappement est ouvert en même temps que l'orifice d'introduction, ce dernier offre une section de passage plus petite que le premier.

41. Du mécanisme. — Le principal problème à résoudre dans la disposition du mécanisme d'une machine locomotive, c'est de pouvoir diriger ses mouvemens en avant et en arrière, à la volonté du conducteur de la machine. Ces mouvemens sont produits par la disposition des excentriques; ces derniers peuvent, en effet, être au nombre de deux ou de quatre : le nombre minimum est évidemment deux, un pour chaque tige de tiroir. Les premières machines étaient faites sur ce système, et avaient deux excentriques mobiles. On reconnut bientôt que ce système avait quelques inconvéniens, l'usure du toc, le jeu, la difficulté de changer le mouvement dans les grandes vitesses, les excentriques ne se mettant pas facilement en prise. Quelques constructeurs adoptèrent alors deux excentriques fixes, mais sans adopter l'avance du tiroir, ou bien, dans le cas où ils l'adoptaient pour la marche en avant, on trouvait du retard à l'arrière. Hawthorn fut alors le premier à adopter quatre excentriques, ce qui fut une grande amélioration; depuis on a cherché à appliquer sur le chemin de fer de Saint-Germain un système à deux excentriques fixes avec l'avance en avant et en arrière au moyen d'une disposition que nous expliquerons plus tard.

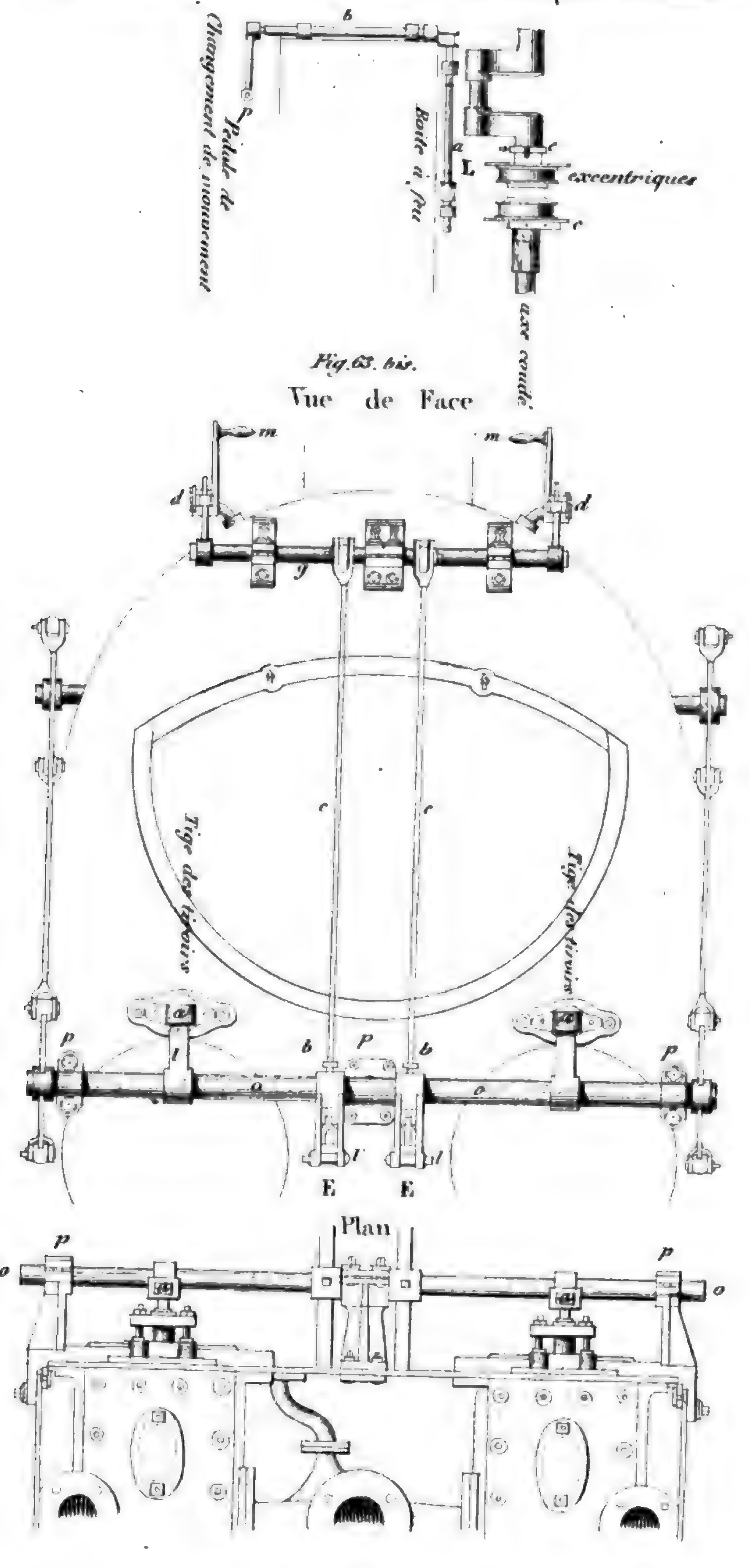
42. Système a deux excentriques mobiles de Jackson. — Nous donnons parmi les ensembles le plan de ce système employé par Jackson dans ses premières machines à quatre roues. AAAA sont les châssis directeurs du mouvement horizontal des tiges du piston qui s'assemblent sur les grandes traverses BBBB. La bielle C communique le mouvement à l'axe coudé D, sur lequel sont montées les têtes d'excentrique dont l'ensemble est donné fig. 65 : ces deux excentriques communiquent par leur tige E à un arbre horizontal *o*, dont la vue de face et le plan sont donnés fig. 58, et la coupe fig. 63 *bis*, en *o*. Cet arbre est supporté par les paliers *p* en cuivre et reçoit un mouvement de rotation alternatif. Au moyen des excentriques ce mouvement alternatif est changé en un mouvement de va-et-vient de la tige des tiroirs, par les leviers *l* et *l'*; le premier reçoit le mouvement de l'excentrique, et le second le communique à la tige au moyen de l'assemblage *a*.

En *b* sont deux encoches articulées qui reçoivent des tiges verticales *cc*, celles-ci aboutissent à un levier coudé calé sur un arbre horizontal *g*. Le levier coudé renvoie le mouvement à deux tringles horizontales *dd*, terminées chacune par une manette *m* à la disposition du conducteur. En tirant à lui ces manettes, il peut soulever les tiges d'excentrique et empêcher la communication de mouvement des tiges aux tiroirs, arrêter par conséquent la distribution et par suite le mouvement de la machine.

Les deux excentriques sont à angle droit; ils diffèrent d'un quart de révolution; ils sont mobiles sur l'essieu au moyen du levier d'embrayage L, fig. 63, calé sur l'arbre *a*, et pouvant être mis en mouvement par l'intermédiaire de l'arbre perpendiculaire *b*, au moyen d'une pédale *p*, à la portée du conducteur de la machine. Sur l'arbre coudé sont deux colliers en fer *cc*, de chaque côté des excentriques, portant une petite saillie du côté extérieur des excentriques ; quand ces derniers sont entre les deux colliers, l'arbre tourne sans les entraîner dans leur mouvement de rotation : quand au moyen du levier d'embrayage de la fig. 63, on rapproche les excentriques de l'un ou de l'autre collier, on fait entrer la saillie de ce collier dans un trou ménagé dans une plaque ou disque en

Fig. 63.

Système de Jackson à deux excentriques mobiles



acier, faisant corps avec l'excentrique. Tous deux sont entraînés dans le mouvement de rotation de l'arbre moteur, et distribuent la vapeur à l'un et à l'autre cylindre.

Ainsi, quand on pousse les deux excentriques sur l'un des colliers, la saillie de ce dernier rencontre bientôt le trou de la plaque qui est de son côté, et les excentriques se trouvent embrayés. Mais il y a une différence totale entre les deux mouvemens imprimés, quand les excentriques embrayent d'un côté ou d'un autre: en effet, supposons que le piston marche dans un certain sens en embrayant d'un côté; si l'on embraye de l'autre, les excentriques gagnent ou perdent une demi-révolution, et les tiroirs qui se trouvaient à un certain point de leur course, au lieu de la continuer, reviennent sur eux-mêmes. La fig. 65 donne la vue de côté et la vue de face des deux excentriques; A donne en coupe les disques qui servent à l'embrayage; *a* est le trou dans lequel entre la saillie du collier. Pour comprendre facilement le changement de mouvement, il faut se reporter aux figures géométriques qui donnent les relations qui existent entre les positions des excentriques et celle du piston. On verra qu'au moment où le piston se trouve au milieu de sa course, les tiroirs ouvrent une des lumières; par le seul changement de côté de l'embrayage, les tiroirs après être restés immobiles pendant une demi-révolution de l'arbre coudé, seront remis en mouvement à contre-vapeur, les excentriques étant embrayés avec l'autre toc. Pendant la marche, ce changement s'opère par la seule pression du pied du conducteur sur la pédale.

Le conducteur a en outre à sa disposition deux manettes *mm*, fig. 66, qui sont calées sur l'arbre *a*, soutenu par des paliers *p* boulonnés avec la boîte à feu. Cet arbre porte une sorte de petit balancier *b*, ayant à ses deux extrémités deux articulations conduisant les tringles *t*, qui vont jusqu'à l'avant de la machine, et participent du mouvement des tirans d'excentrique par l'intermédiaire de balanciers semblables à *b*. L'arbre *a* reçoit le mouvement de va-et-vient, par l'intermédiaire de deux dispositions semblables à *tt*, situées de chaque côté de la machine, et les

deux parties concentriques sur lesquelles sont montées les manettes entrant l'une dans l'autre, peuvent tourner indépendamment, l'une dans un sens, l'autre dans l'autre, de manière à donner aux deux manettes un mouvement relatif exactement semblable au mouvement des tiroirs. Ces deux manettes servent à intervertir à la main, après avoir déclanché les excentriques, le mouvement des tiroirs et à changer la direction de mouvement de la machine. Ensuite, dans le cas où un accident arriverait aux excentriques, on pourrait faire marcher la machine à la main; il faut pour cela soulever ou déclancher les barres d'excentriques, comme il a été expliqué pour l'arrêt.

La même figure 64 montre aussi l'extrémité du levier qui sert à soulever les barres d'excentrique pour les désembrayer.

Pour changer le mouvement de la machine arrêtée, on opère sur la pédale une pression continue; par cette manœuvre on rend les excentriques libres sur l'axe coudé et on les rapproche du collier d'embrayage opposé au précédent. Alors on renverse la position des manettes en faisant faire un demi-tour aux excentriques qui, de cette manière, présentent leur cavité au toc qui s'y introduit. La direction de mouvement se trouve ainsi changée.

43. Système a deux excentriques fixes. — Le système à deux excentriques mobiles que nous venons d'expliquer a été abandonné par les constructeurs en raison même de la mobilité des excentriques dont le mouvement délicat est très sujet à se déranger et occasionne des retards de marche; ces inconvéniens ont fait penser à adopter deux excentriques fixes sur l'axe coudé.

L'excentrique E (fig. 67), fixé sur l'axe coudé A, est terminé par un double pied de biche dont les deux parties sont symétriques et opposées. Il communique le mouvement à la tige des tiroirs T par l'intermédiaire du balancier C, à deux flasques, tournant autour du point fixe O et dont les deux tourillons DD' reçoivent les deux cavités circulaires L, et entraînent le balancier et la tige des tiroirs dans le mouvement des excentriques. La figure indique la position des leviers pour aller en arrière dans la

Fig. 64

Détails des Leviers

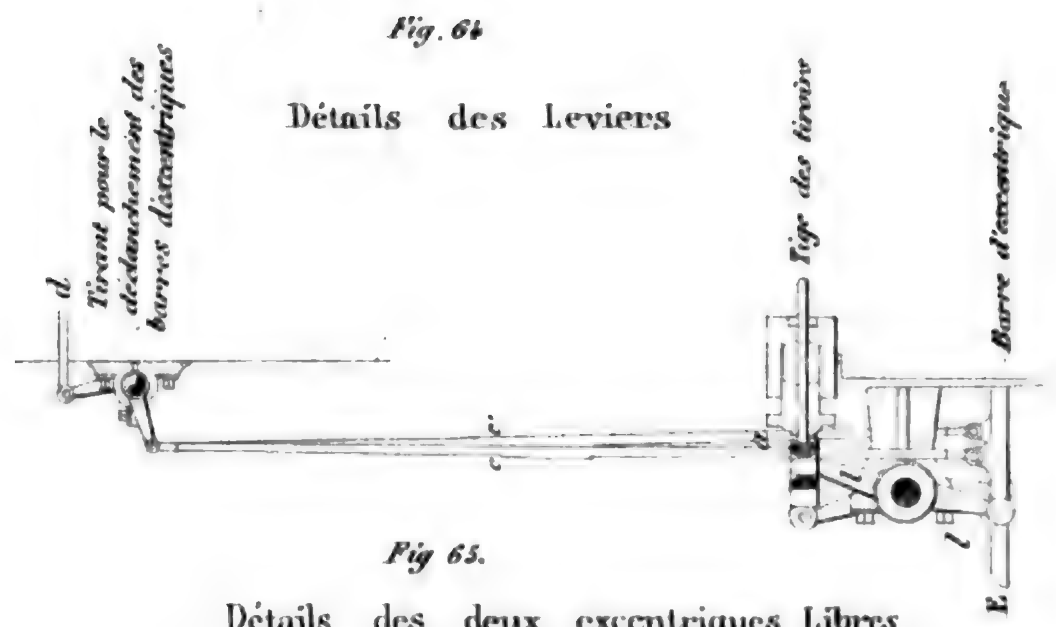


Fig 65.

Détails des deux excentriques Libres

Vue de face des Colliers

Vue de Coté

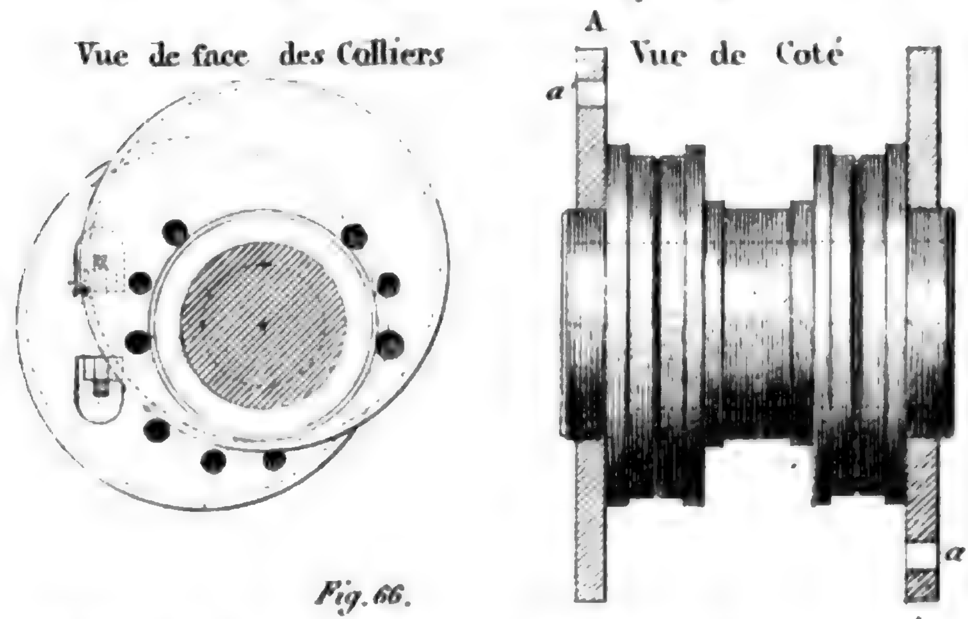


Fig. 66.

Manettes et leviers pour la marche à la main

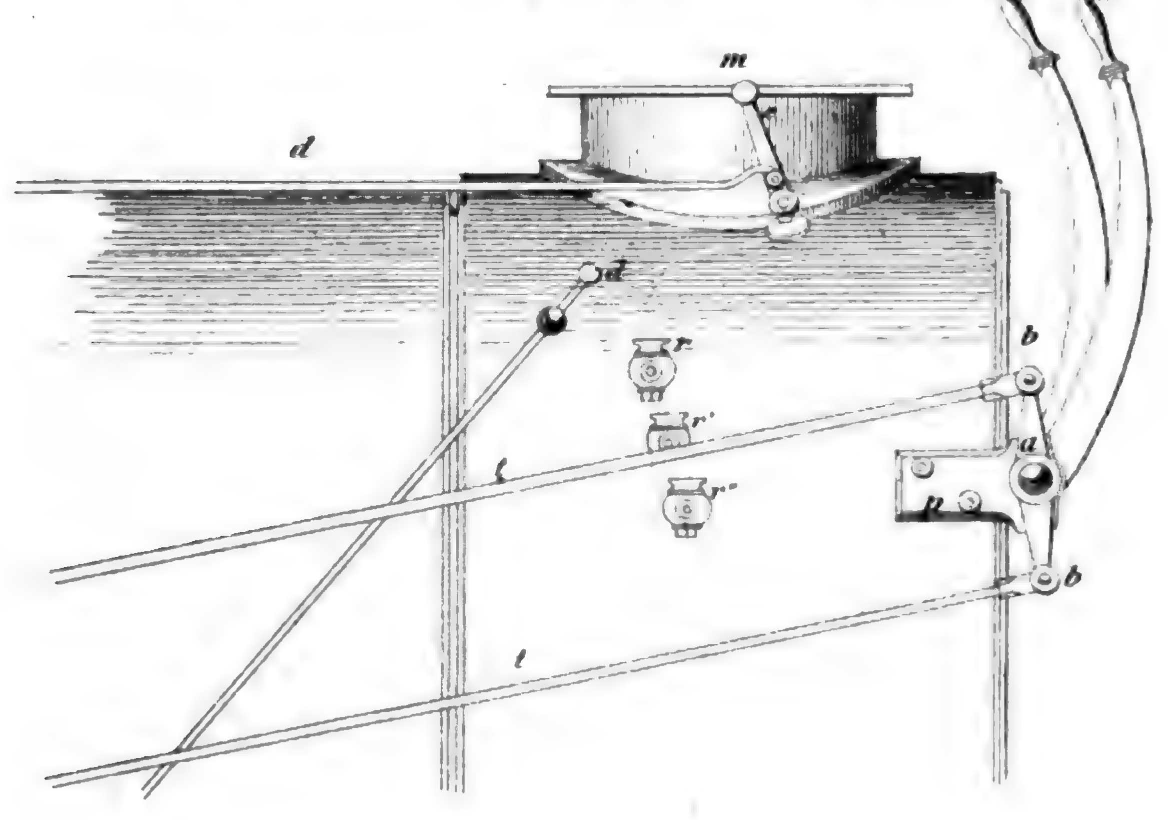


Fig. 67.

Système de Distribution à deux excentriques Fixes.

direction des flèches F, et dans ce cas la manette, à la portée du conducteur et qui change le mouvement des tiroirs, est en haut, tournée du côté de la boîte à fumée : pour la marche en avant, le conducteur ramène la manette en bas et, par une double articulation, la barre d'excentrique est relevée par la manivelle coudée à l'aide du galet G tournant dans la chape H ; le pied de biche mène alors le balancier OC par son petit arbre D', et en changeant les tiroirs change également la direction du mouvement de la machine. Quand on veut changer le mouvement de la machine, la position des tiroirs doit être modifiée; ainsi, quand il est à la fin de la course d'un côté, il doit être ramené à la fin de la course de l'autre : tel est le but des plans inclinés du pied de biche; ils viennent rencontrer le bouton du levier des tiroirs et le forcent à se déranger, jusqu'à ce qu'il ait pris la position symétrique et qu'il se soit enclanché naturellement dans le maneton. On comprend qu'il faut une grande pression pour vaincre ainsi les frottemens des deux distributions. La grande manette sert à faire mouvoir les tiroirs et à changer ainsi le mouvement de la machine, mais elle ne peut servir à la marche à la main : c'est un désavantage des machines à une seule manette; mais, en compensation, elles sont plus faciles à conduire dans le passage des plates-formes. Pour l'arrêt on met la manette verticale, et les pieds de biche ne donnent le mouvement ni en haut ni en bas du balancier, mais restent au milieu

Dans ce système, pour régler la distribution également pour la marche en arrière et pour la marche en avant, il faut placer la manivelle au point mort et caler l'excentrique sur l'axe coudé, de manière à ce que son rayon d'action fasse un angle droit avec la ligne milieu AO. L'angle OAD que fera l'excentrique avec chacune des positions des barres enclanchées en haut et en bas donnera la quantité dont le tiroir différera de la marche rigoureuse, et la distribution aura une avance ou un retard correspondant, suivant que l'excentrique sera calé en avant ou en arrière de la manivelle. D'après la figure, il y aura avance des deux côtés. Si la manivelle au contraire était au-dessus, il y aurait retard des deux côtés.



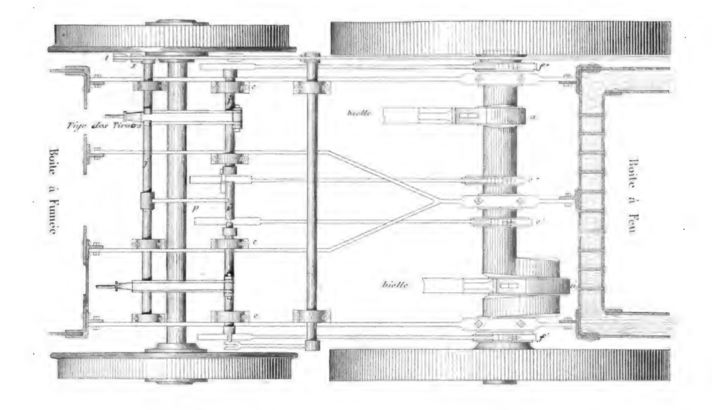


Fig. 68.

Plan de la Distribution de la Stephenson à six roues

Nous tâcherons de nous rendre compte plus loin de cet effet par des lignes géométriques.

44. Système de Stephenson a quatre excentriques. — En présence de cette difficulté, les constructeurs ont dû adopter une disposition qui permît de donner aux tiroirs une avance en avant et en arrière ; Hawthorn a donc essayé un troisième système à quatre excentriques, employé depuis par presque tous les constructeurs et, avec quelques modifications, par Jackson lui-même dans ses nouvelles machines à six roues. La figure 68 donne le dessin du système adopté par Stephenson.

Les deux excentriques $e'e''$ sont destinés à faire avancer la machine, les deux autres $f'f''$ la font reculer; ces deux systèmes sont deux à deux à angle droit : les deux excentriques d'un même système sont aussi à angle droit, mais les deux systèmes forment entre eux un angle qui est moindre que deux droits d'une quantité égale à la somme des avances; les deux excentriques $e'f'$ communiquant le mouvement par l'intermédiaire de l'axe ii à la tige des tiroirs du cylindre de gauche, et $e''f''$ communiquant le mouvement par le moyen du même axe $i'i'$ à la tige des tiroirs de droite. Une élévation des tiges d'excentrique et de leurs leviers de transmission est donnée dans les figures 69 et 69 *bis*, en deux positions différentes; les tiges des excentriques sont terminées par des crochets gg' ayant une encoche à l'angle qui sépare les deux branches du crochet.

Ces encoches sont destinées à recevoir le maneton et à s'unir avec lui invariablement quand on veut donner le mouvement comme il est indiqué dans la figure 69 *bis*. La figure 66 donne la position des barres d'excentrique au moment où elles cessent d'agir, c'est-à-dire quand la machine est arrêtée. Le maneton est assemblé avec les leviers hh', calé sur les axes ii', fig. 70. Ceux-ci tournent dans des coussinets en bronze fixés au châssis de la machine et faits en deux pièces comme les supports ordinaires fixés par des boulons sur les grandes traverses, et pouvant se serrer quand le cuivre commence à s'user. Sur les mêmes axes sont

Fig. 68.

Plan de la Distribution de la Stephenson à six roues

calés sur rond les leviers *ll'* de la même longueur que les leviers *hh'* sur lesquels sont assemblées les tiges des tiroirs *m* à tenons et mortaises retenus par des boulons qui les fixent l'un à l'autre invariablement et ne permettent que le mouvement vertical dû à la flèche de l'arc parcouru par le levier *hh'*. L'autre extrémité de cette tige horizontale est assemblée à la tête de l'axe des tiroirs de la même manière.

Les barres d'excentrique, venant embrasser le maneton, entraînent les manivelles *ll'* et les leviers *hh'* dans leur mouvement de va-et-vient, et le communiquent par ce moyen aux tiroirs eux-mêmes. Les leviers *l* et *h* étant de la même longueur, la course des tiroirs est égale à celle des excentriques. Aux mouvemens obliques d'une barre d'excentrique correspondent les mouvemens horizontaux de la tige du tiroir, tandis que les leviers et les manivelles se meuvent suivant un arc de cercle, comme il est indiqué par les figures. Les pieds de biche des leviers sont en acier, pour diminuer l'usure. Il est nécessaire que toutes ces pièces ne prennent pas de jeu dans leur assemblage et ne soient pas susceptibles d'élasticité, parce que de leur immobilité corrélative dépend la régularité de la course des tiroirs.

Les excentriques *e'e''* sont à angle droit, pour que leur grand axe soit aussi à angle droit par rapport à la manivelle correspondante au piston qu'ils font mouvoir, et ils sont en avance d'un quart de révolution, afin que la lumière d'introduction soit ouverte quand le piston est au milieu de sa course. — Ils sont placés de manière à ce que la tige du piston fasse avancer la machine en poussant l'axe quand il est en bas, et en l'attirant quand il est en haut, en sorte que les roues marchent suivant la flèche, et font avancer la machine.

Les deux autres excentriques sont nécessaires pour faire aller la machine en sens inverse, et les dispositions de détail adoptées pour les premiers excentriques sont exactement semblables pour les autres. Les pieds de biche prennent les deux manetons extrêmes *nn'* au lieu des deux manetons *hh'* (fig. 70). L'axe *i* communique son mouvement de rotation alternatif à l'arbre *j* au moyen

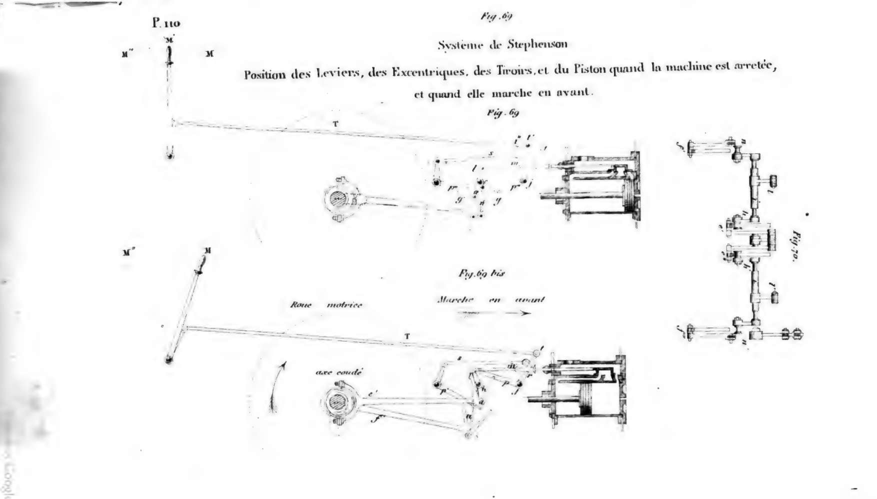
du levier p. Sur cet axe j est calée une petite manivelle munie de deux yeux s, t; sur le dernier s'assemble une longue tringle se terminant à la manette m, auprès du conducteur de la machine. C'est à l'aide de cette manette que l'on donne le mouvement d'arrière ou le mouvement d'avant, ou que l'on arrête la machine. Pour empêcher les excentriques d'agir sur les tiroirs, un levier n articulé sur l'axe c s'abaisse, et les pieds de biche sont sans action sur les manetons, et par conséquent sur les tiges des tiroirs.

La figure 69 indique la manette dans la position milieu M′, c'est-à-dire les tiroirs étant à l'état de repos, et la figure 69 *bis* l'indique dans la position M, c'est-à-dire tendant à faire marcher la machine en avant. Cette manette est d'ailleurs fixée dans la position qu'on lui donne par un guide à crans.

Dans le cas où la machine est arrêtée, la manette est dans la position verticale M′; les leviers s et $p''p'''$ sont horizontaux; les excentriques sont tous débrayés, et leur action ne tend qu'à faire mouvoir les leviers nn' autour de leur point de rotation c sans agir sur les tiroirs; les autres barres d'excentrique sont aussi soutenues par des leviers semblables. Dans ce cas, la distribution n'ayant plus lieu, la machine ne continue son mouvement qu'à cause de son inertie.

Mais lorsque le levier à main est amené à la dernière encoche de l'arrêt, les positions des leviers d'excentrique changent, le levier p''' se relève et prend la position p de la figure 69 *bis* en tournant autour du point de rotation j. Le levier p'' est au contraire abaissé dans la position p', et retient les excentriques d'arrière, de manière à ce que les encoches ne viennent pas entraîner dans leur mouvement l'axe a et le levier du mouvement arrière.

Quand, au contraire, on amène le levier à main à la position M″, les barres d'excentrique d'avant ee' sont désengrénées, et les autres ff' sont mises en relation avec l'axe moteur des tiges de tiroir. On voit donc que la machine peut prendre un mouvement d'avant ou un mouvement d'arrière en plaçant simplement le levier à main en avant ou en arrière. Le mouvement de l'axe i est communiqué à l'axe j par l'intermédiaire du levier p


Fig. 69
Système de Stephenson
Position des Leviers, des Excentriques, des Tiroirs, et du Piston quand la machine est arretée, et quand elle marche en avant.
Fig. 69
T
Fig. 69 bis
Roue motrice
Marche en avant
T
axe coudé
Fig. 70.

(fig. 69 *bis*), et cet axe *j* est lui-même en relation avec la tige à manette T que le conducteur a à sa disposition. Ces tiges, que les excentriques mettent en mouvement, occasionnent un certain frottement dans la machine. On voit que dans ce système les barres d'excentrique sont suspendues à des leviers et à des pièces verticales, attachées directement ou indirectement au levier de changement de mouvement. Cela leur ôte de leur solidité, et il peut arriver que le pied de biche sorte du maneton. Pour éviter cela, quelques constructeurs ont mis le levier des excentriques au-dessus de l'axe de communication, et l'on a mis les fourches dans un sens opposé, de sorte que pour le mouvement les fourches pressent sur l'axe de tout leur poids. Mais cette disposition est sujette à un grave inconvénient : c'est que par accident les barres d'excentrique opposées à celles qui doivent donner le mouvement peuvent tomber sur l'axe, et les deux directions opposées de mouvement imprimées aux tiroirs doivent nécessairement amener les ruptures des barres, tandis qu'au contraire, dans l'autre disposition, les barres d'excentrique ne peuvent, dans aucun cas, donner, en se détachant, un mouvement contraire aux tiroirs.

Cette disposition des excentriques est adoptée par M. Stephenson et imitée par d'autres constructeurs avec diverses modifications dans les communications de mouvement. Ce levier unique destiné à changer la direction de la machine en intervertissant l'ordre d'introduction de vapeur, est commode pour cette manœuvre ; mais il a l'inconvénient de ne pas permettre au conducteur de faire marcher les tiroirs à la main pour de petites distances quand un accident est arrivé aux tiges d'excentrique.

Il est inutile de dire que l'on peut, dans ce système, ménager l'avance du tiroir pour l'avant aussi bien que pour l'arrière en faisant faire un angle aigu dans les deux cas à l'un et à l'autre excentrique par rapport à la manivelle correspondante.

45. Système à quatre excentriques de Jackson. — La même disposition à quatre excentriques a été adoptée par Jackson

dans sa nouvelle machine à six roues *la Versailles* (fig. 71).

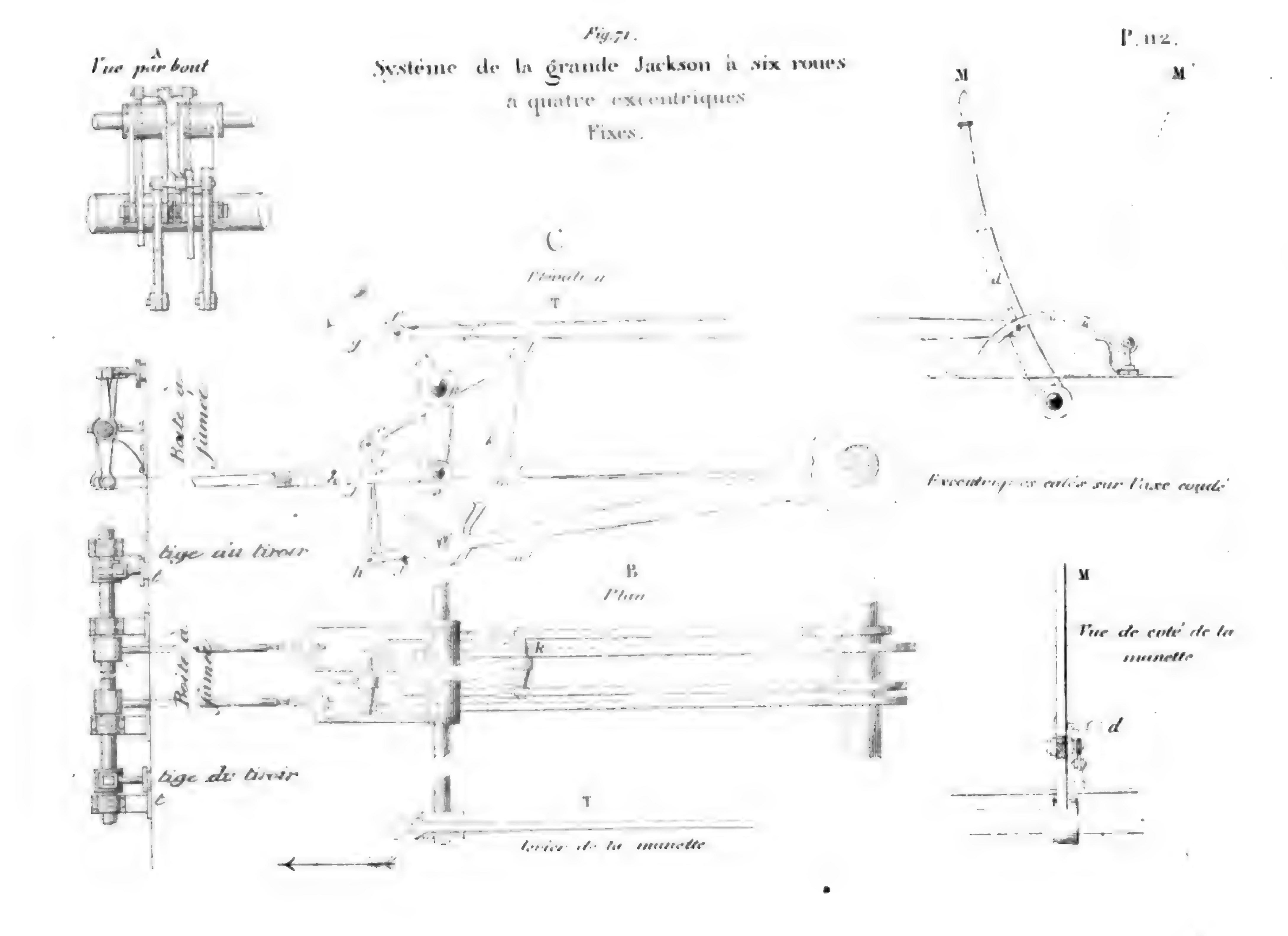
A est la vue de côté, B le plan, C la vue de face. Le principe d'embrayage et de désembrayage est le même que celui de Stephenson ; les fourches des excentriques viennent communiquer le mouvement aux tiges des tiroirs *t* au moyen des chapes *oo'*. Pour changer le mouvement de l'avant à l'arrière, le conducteur de la machine relève le taquet *d* qui presse sur le levier et comprime le ressort; celui-ci se redresse et le conducteur ramène la manette M dans la position M', alors le taquet *d* rabaisse de nouveau le ressort et la manette se trouve fixée dans une position invariable dans l'encoche. Pendant le passage de la position M à la position M' le tirant T agit sur la manivelle *e''* calée sur l'arbre *p* aussi bien que le double levier *ee'*. Le point *f* de la manivelle vient en *f*, le point *g* du levier *e'* vient en *g'* et les deux leviers *gh*, *gj* viennent en *g'h'*, *g'j'*, tandis que le point *k* vient en *k'*, et les deux leviers *kl* et *km* viennent se placer en *k'l'* et *k'm'*, en sorte que les premiers excentriques qui embrayaient d'abord sont désembrayés, et réciproquement ; le mouvement de la machine a donc changé de direction, puisque les excentriques sont deux à deux en retard d'une demi-révolution.

Quand la manette M est dans le cran du milieu, le double levier *ee'* est horizontal, les quatre tiges *gh*, *gj*, *kl*, *km* sont verticales et les quatre excentriques sont désembrayés. Ce système a l'avantage d'être plus simple que celui de Stephenson; de plus, il est composé de pièces plus fortes, moins sujettes aux vibrations dues à l'élasticité, et il est par conséquent plus exact dans son travail.

Nous avons déjà dit que les pieds de biche ont pour but de régler la distribution d'une manière symétrique pour changer le sens du mouvement. Dans la position intermédiaire, quand les pieds de biche n'agissent nullement sur la distribution, ils doivent être à une distance telle que dans le mouvement alternatif qu'ils continuent à recevoir des excentriques, ils ne puissent rencontrer les manetons des tiroirs; quelle que soit d'ailleurs la position de ceux-ci.

Fig. 71.

Système de la grande Jackson à six roues à quatre excentriques Fixes.



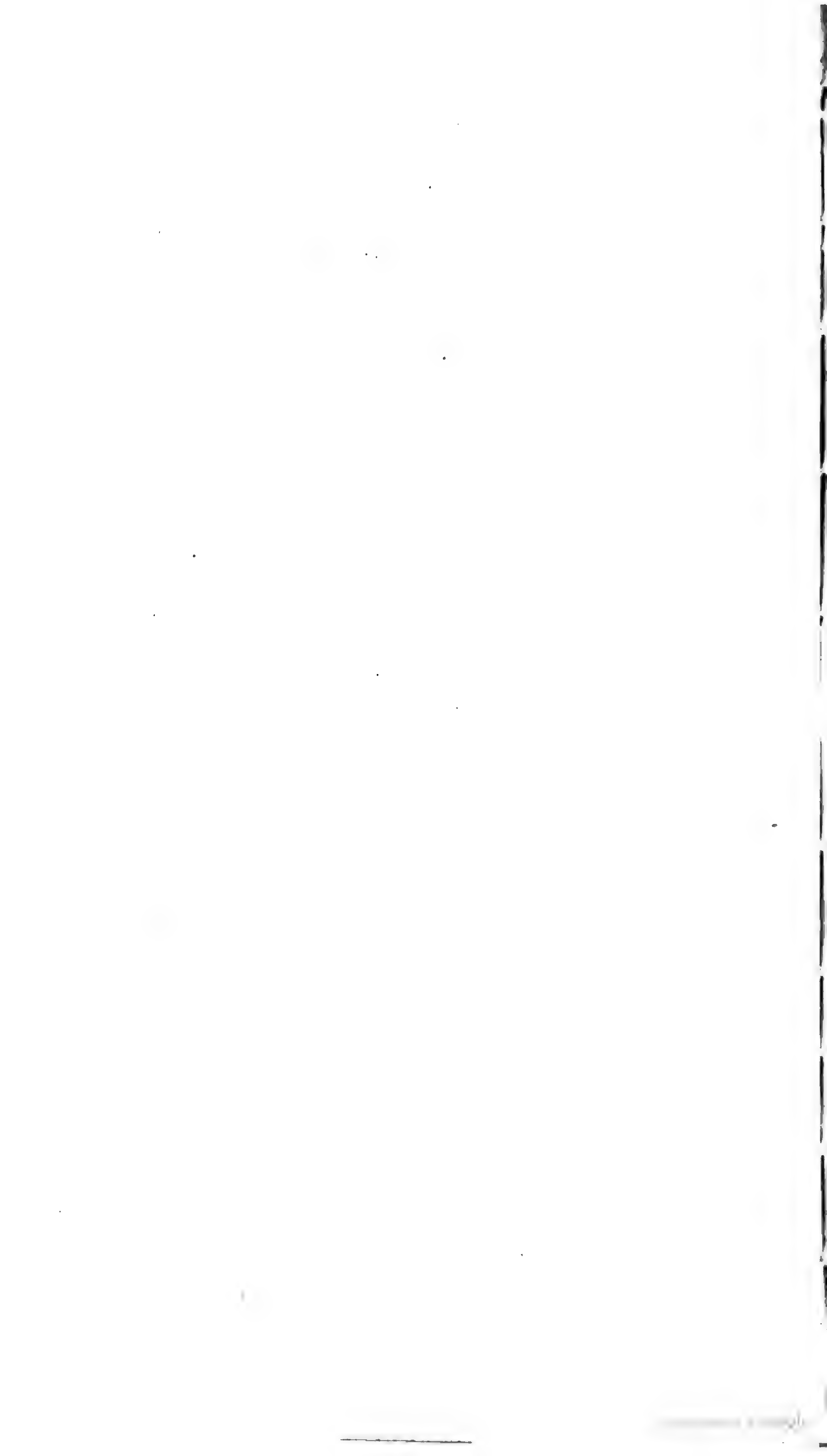
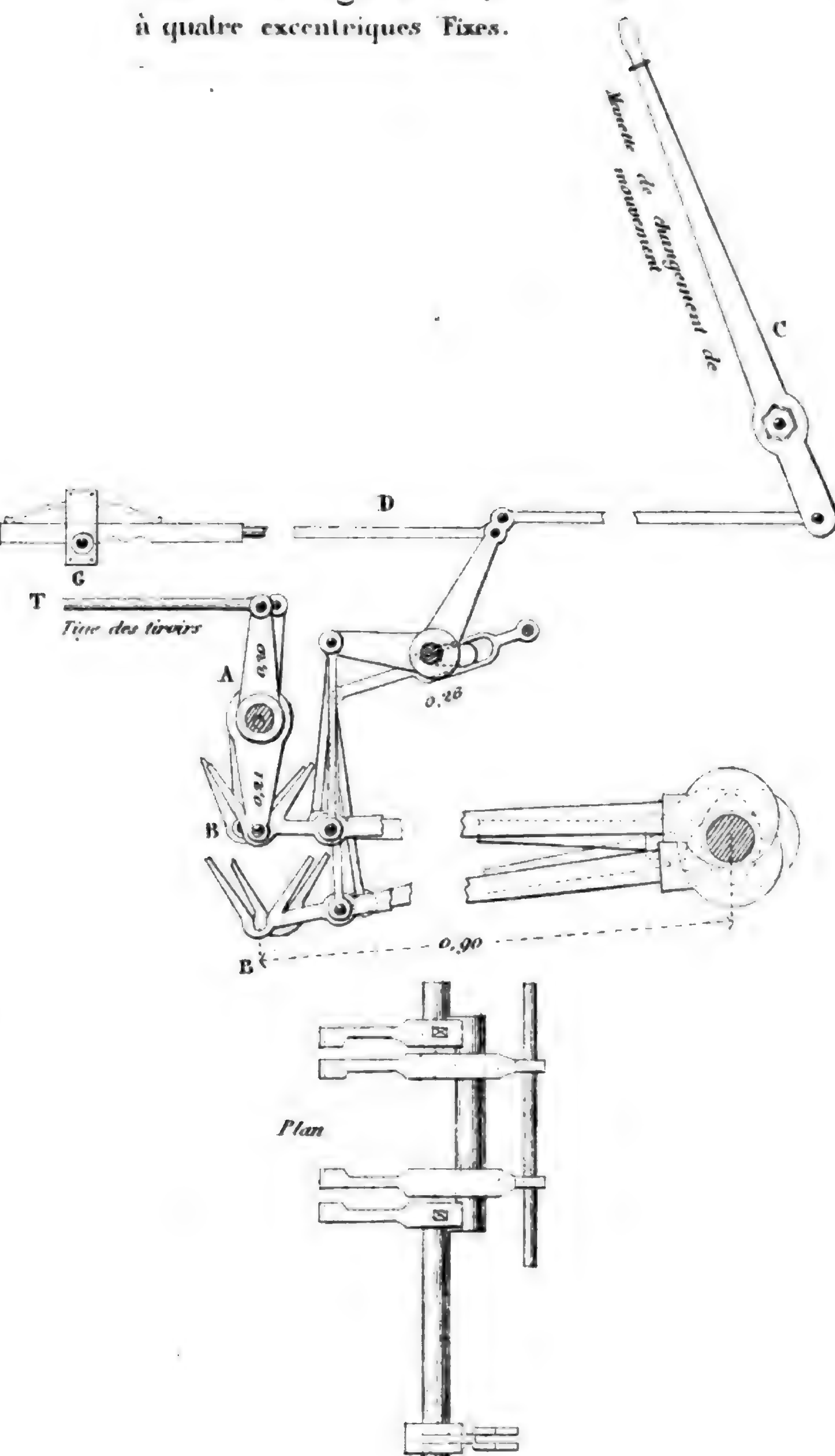


Fig. 7e

Système d'Haigh-Foundry à quatre excentriques Fixes.



46. Système d'Haigh Foundry a quatre excentriques. — Le système d'Haigh Foundry diffère peu de ceux de Stephenson et de Jackson. La fig. 72 donne une idée de ce système. Le balancier A tournant autour du point fixe *o* donne le mouvement à la tige du tiroir T et le reçoit du pied de biche. Les deux excentriques B sont embrayés, les deux autres B' ne le sont pas et servent à la marche en arrière.

Le changement de mouvement se fait à l'aide du levier C mu en haut et en bas par la manette M; les positions extrêmes et milieu que prend la manette sont limitées par le tirant D, terminé à son extrémité par trois crans qui s'arrêtent sur un axe G placé à l'extrémité de la machine et hors de la portée du conducteur, ce qui est évidemment un inconvénient.

Ce système a d'ailleurs beaucoup d'analogie, comme on le voit, avec la nouvelle Jackson, et peut donner, comme tous les systèmes à quatre excentriques, de l'avance en avant et en arrière.

47. Théorie de la distribution a deux excentriques fixes. - Le changement de mouvement avec les deux excentriques se fait d'une manière analogue à celle qui s'applique déjà dans les machines employées dans les mines, en rattachant la barre d'excentrique au côté opposé du levier du tiroir.

Si on conservait la disposition qui consiste à enclancher les excentriques sur le levier inférieur pour la marche en avant, il en résulterait que la distribution éprouverait du retard des deux côtés, comme il est facile de s'en rendre compte. Soit *og* (fig. 73) la manivelle au point mort, *cb* le levier des tiroirs. Supposons que la barre d'excentrique s'enclanche en *c* pour la marche en avant (flèche *f*), et avec *b'* pour la marche en arrière (flèche *f'*).

Pour que l'excentrique soit calé rigoureusement, il faut que, quand la manivelle *og* est au point mort, le rayon d'excentrique soit d'équerre avec la barre d'excentrique; (la position de celle-ci variant) le calage normal serait en *oa'*, en plaçant le rayon de l'excentrique à angle droit sur la ligne intermédiaire *oa*.

Quand on veut marcher en avant, la barre d'excentrique étant

oc, l'excentrique devrait être calé en *oc''*, formant un angle droit avec *oc*; au lieu de cela, il est en *oa'* : il y aura donc retard, la manivelle se mouvant dans le sens de la flèche *f*.

Dans la marche en arrière (flèche *f'*), la barre d'excentrique étant *ob'*, l'excentrique devrait être en *ob''*. Il est en *oa'*, c'est-à-dire en retard encore de la même quantité que pour l'autre marche; quantité représentée par l'angle $c''oa' = a'ob'' = b'oa = boc$. Pour avoir de l'avance avec une pareille disposition, il faut caler l'excentrique en *t''*; on a alors, dans la marche en avant, une avance donnée par l'angle *t''oc''*; mais aussi, dans la marche en arrière, le retard est très considérable et est représenté par l'angle *t''ob''*.

Cependant on peut obtenir une avance dans les deux sens en enclanchant la barre d'excentrique en *b'* pour la marche en avant. L'excentrique sera alors calé en *a'* (fig. 73 *bis*), pour la marche normale, et il y aura pour la marche en avant une avance représentée par *a'ob''*; et pour la marche en arrière, par un angle égal à *a'oc''*.

Comme cette avance est généralement insuffisante, on peut la doubler sans donner du retard dans la marche en arrière. C'est dans ce but que plusieurs constructeurs ont raccourci les barres d'excentrique et augmenté la longueur des leviers des tiroirs. On a pu obtenir ainsi une avance considérable dans les deux sens (fig. 74).

L'inclinaison de la barre d'excentrique présente un inconvénient qui est trop important pour ne pas le signaler. Si, par une cause quelconque, le ressort qui supporte la chaudière descend ou remonte, la barre d'excentrique donne aux tiroirs un mouvement de translation qui le dérange. Ainsi, en cherchant quel serait le mouvement des tiroirs pour une oscillation de 20 millimètres du ressort, on trouve qu'il serait de 2 millimètres pour la distribution fig. 67, et de 3 millim. $^1/_2$ pour la distribution fig. 74 : sur une autre disposition nous avons reconnu qu'il s'est élevé jusqu'à 8 millimètres. Dans ce dernier cas, les irrégularités qui en résultent sont très nuisibles.

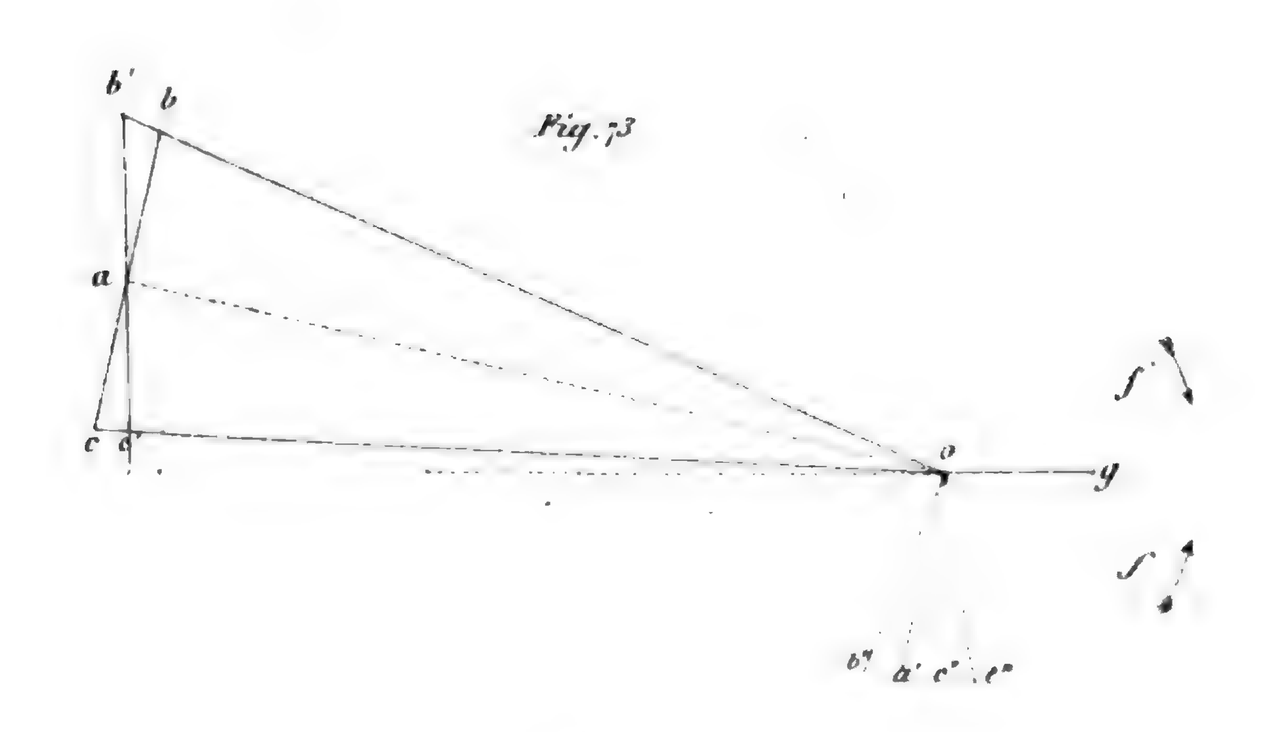


Fig. 73

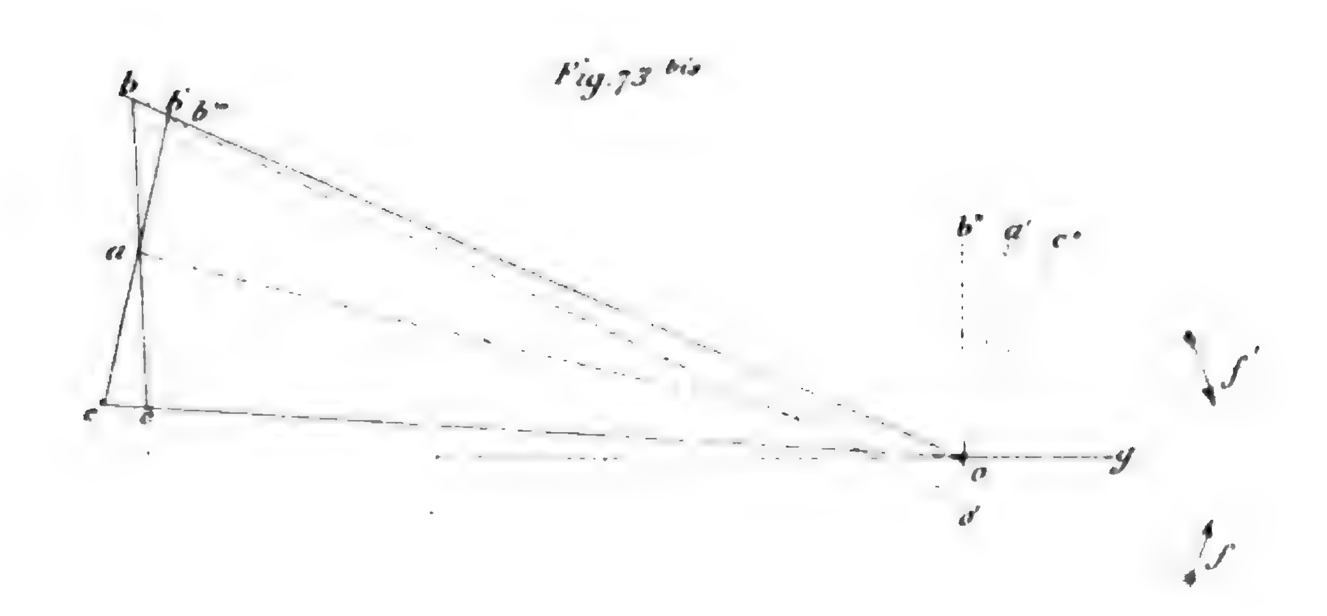
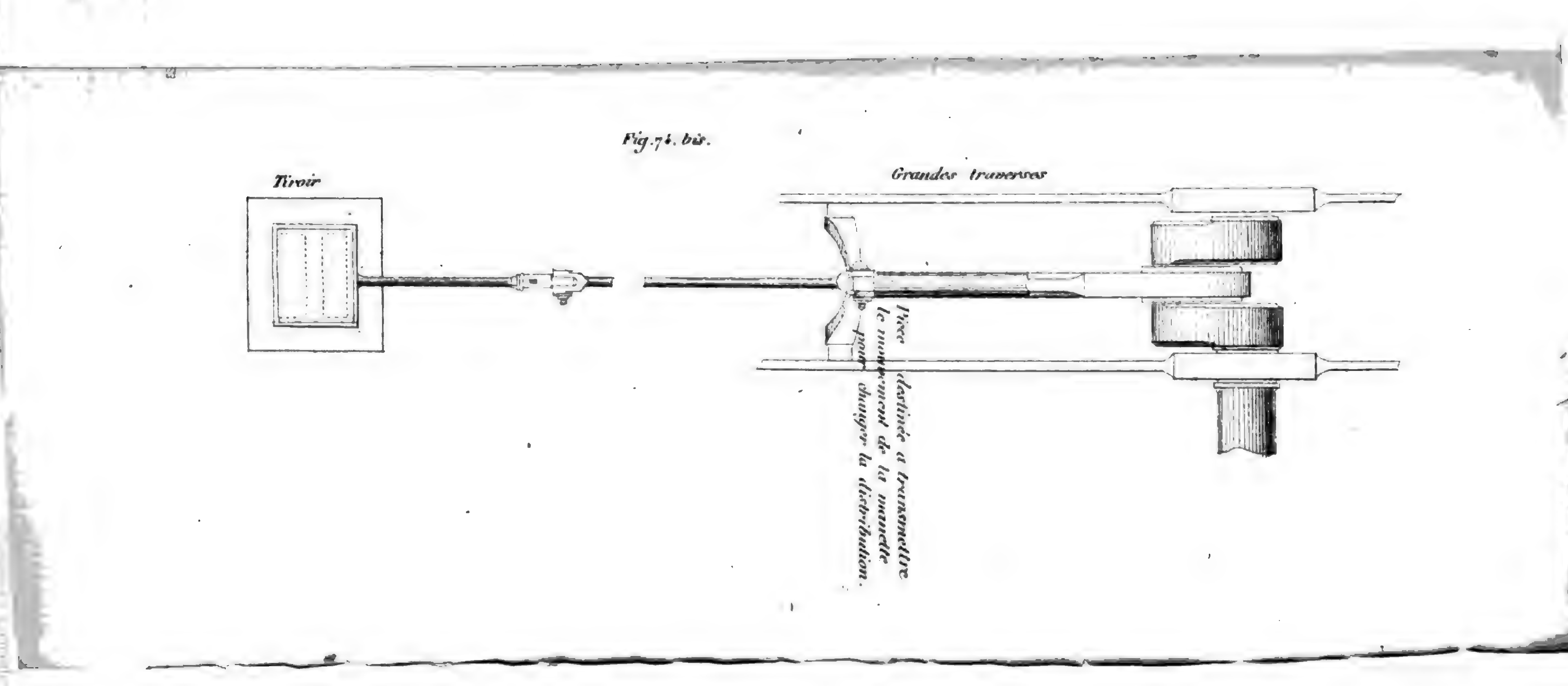


Fig. 73 bis

Fig.74.bis.


Tiroir
Grandes traverses
Pièce destinée à transmettre le mouvement de la manette pour changer la distribution.

On peut se rendre compte de cet effet dans la figure 73 *bis*. Supposons que l'axe baisse en o', la barre d'excentrique ob' viendra en $o'b'''$, et dérangera le tiroir d'une quantité $b'b'''$.

48. Système a deux excentriques fixes de M. Cavé. — Nous venons de démontrer qu'avec deux excentriques fixes il était possible d'avoir une avance pour la marche en avant et pour la marche en arrière; que cette avance dépendait de l'angle formé par les barres d'excentrique dans leurs deux positions extrêmes.

Nous avons dit enfin que jusqu'à présent cet angle avait été tout-à-fait insuffisant. M. Cavé, dans sa première locomotive, a raccourci la barre d'excentrique et augmenté la longueur des leviers des tiroirs, de manière que l'angle d'avance est en moyenne de 15° pour la marche en avant ou en arrière, et que cet angle peut s'élever jusqu'à 30° pour la marche en avant, sans qu'il y ait du retard pour la marche en arrière.

La disposition de la distribution est indiquée dans les figures 74 et 74 *bis*. Le levier des tiroirs aa' tourne autour d'un point o placé au niveau de l'axe du cylindre, en sorte que l'inclinaison des deux barres est la même, et que les inconvéniens de cette inclinaison sont ainsi réduits à leur minimum.

L'excentrique est enclanché dans le manceton supérieur pour la marche en avant.

On remarque que c'est le levier des tiroirs lui-même qui, par sa forme courbe, remplit l'office de pied de biche; le manceton fixé à l'excentrique force les tiroirs à se déranger en appuyant sur les courbes latérales quand on veut renverser le mouvement.

Il y a lieu de signaler une disposition heureuse de cette distribution qui est le recouvrement du tiroir pour l'entrée de la vapeur. Cela réalise les conditions les plus convenables pour la marche, c'est-à-dire l'économie de vapeur en n'ouvrant la lumière d'entrée qu'au commencement de la course et la fermant bien avant la fin. La lumière d'échappement est ouverte prématurément d'une quantité un peu inférieure à celle qui est donnée par l'avance.

49. Système d'Hawthorn. Tous les constructeurs dont nous avons examiné les dispositions se servent d'excentriques pour la distribution. Ce moyen présente cependant l'inconvénient d'une trop faible course qu'Hawthorn a évité dans ses dernières machines. Il se sert (fig. 75) du mouvement même de la bielle pour distribuer la vapeur par les tiroirs.

La bielle B contient sur sa tige en A un galet qui tourne dans la pièce rectangulaire C. Pendant la rotation de la bielle sur l'axe coudé, cette pièce s'élève et s'abaisse; le point DC décrit une portion de circonférence, ce mouvement se communique au point E, et ce mouvement circulaire se change en un mouvement de va-et-vient imprimé à la tige des tiroirs T par l'intermédiaire du levier E F et du double pied de biche G. La figure représente la position des pièces pour la marche en avant; quand on veut changer de mouvement, on se sert de la manette M: si le conducteur la ramène verticalement, tout se trouve désembrayé, la pièce B se trouve au milieu du balancier EF, et n'embraye ni avec le point E, ni avec le point F. Quand la manette a dépassé la verticale et qu'elle fait avec elle, de l'autre côté, un angle égal à celui qu'elle fait dans la fig. 75, alors le point H et le point I décrivent des arcs de cercle, la tige J s'élève et mène le pied de biche G jusqu'à la partie supérieure du balancier E; ce mouvement ayant lieu pendant que la manivelle décrit une révolution, le mouvement des tiroirs est subitement changé et la direction de la machine est inverse.

Pour avoir l'avance dans la marche en avant, il suffit de fixer la longueur du levier L de manière à ce que la pièce C fasse ouvrir la lumière d'introduction avant que le piston soit arrivé à la fin de sa course : ainsi, dans la figure, la manivelle est horizontale, le piston à la fin de sa course; il faut que la lumière d'introduction soit déjà ouverte : or, comme pour l'arrière tout est symétrique, il est évident que cette disposition permet aussi bien l'avance en avant qu'en arrière.

Une disposition ingénieuse qu'Hawthorn a adoptée dans plusieurs de ses machines sur ce système, est celle qui consiste à pouvoir augmenter et diminuer à volonté et en peu d'instans l'a-

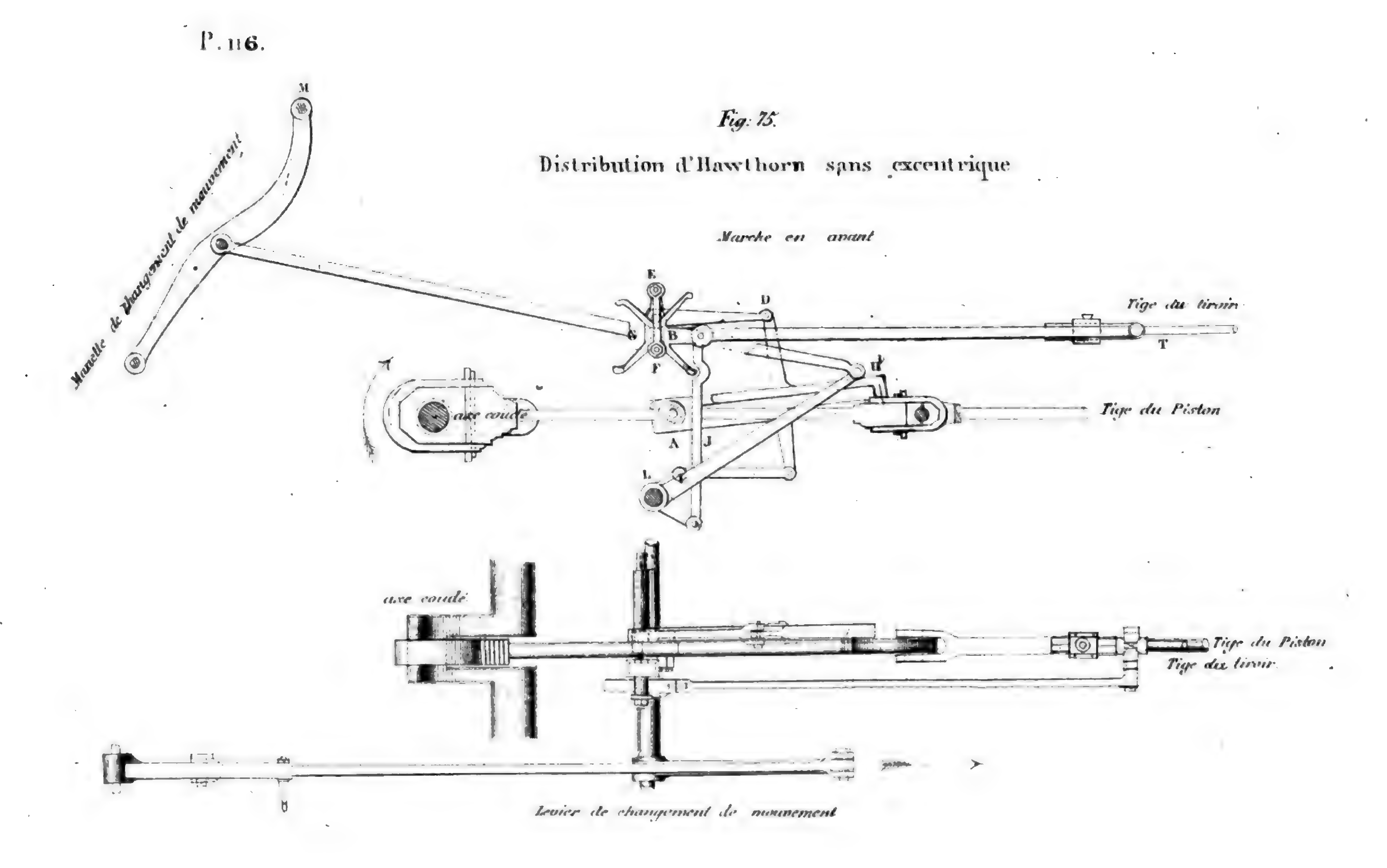
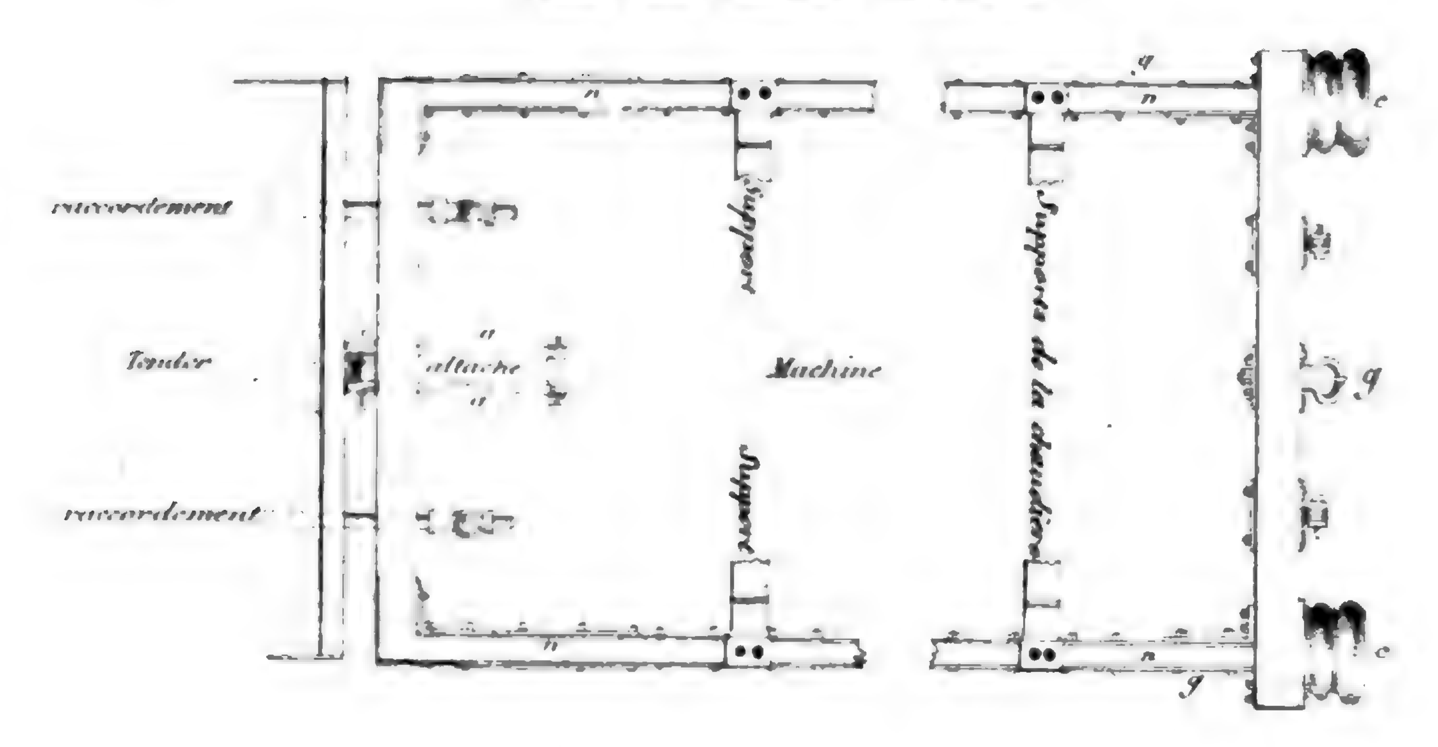


Fig: 75.

Distribution d'Hawthorn sans excentrique

Marche en avant

Fig. 76.
Plan du chassis exterieur



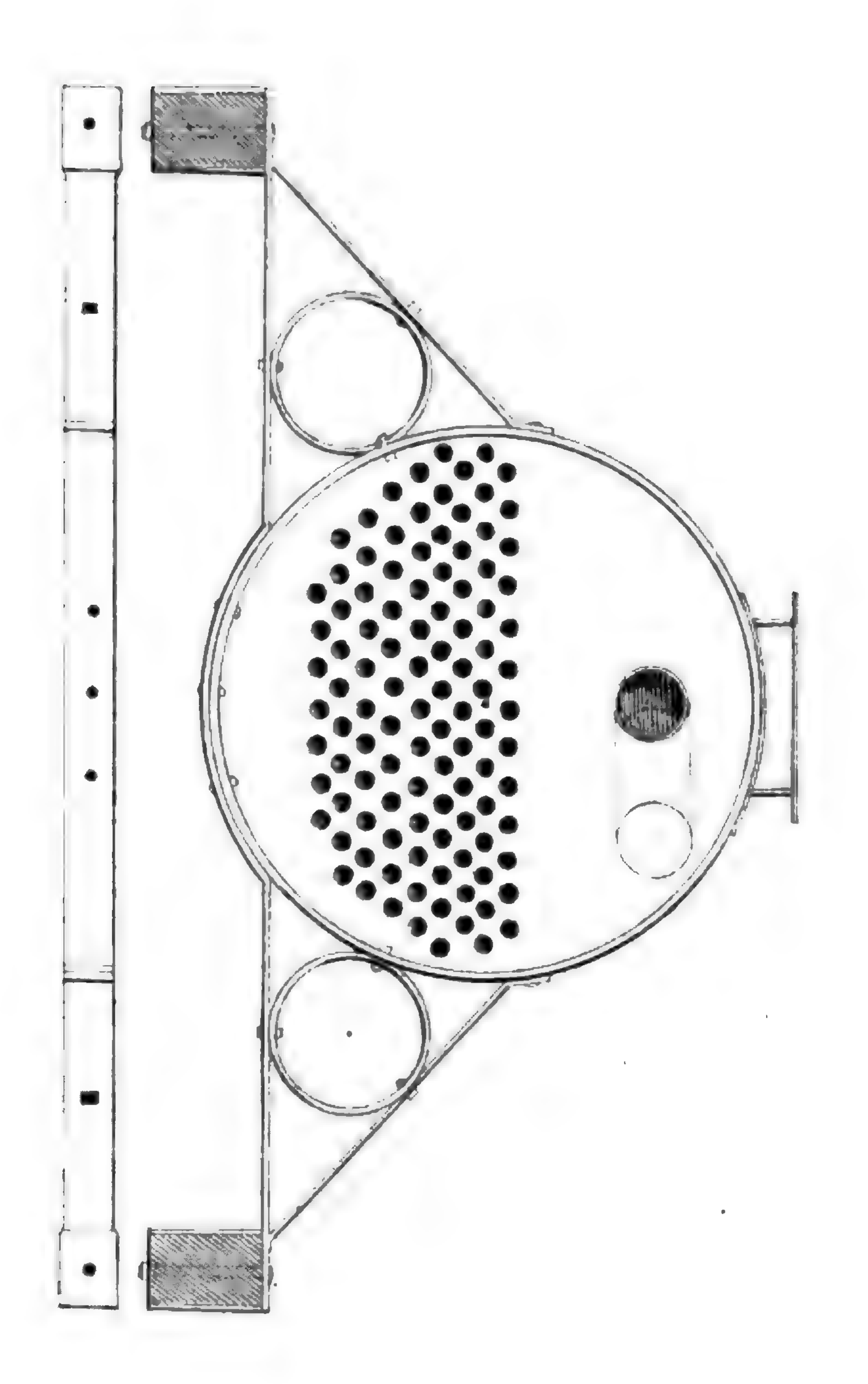


Fig. 77.
Supports de la chaudière sur le chassis exterieur

vance du tiroir. Pour cela il suffit de s'arranger de manière à augmenter ou diminuer la longueur du levier L, en fixant plus loin ou plus près du centre le point I.

Ce système a sur les excentriques l'avantage d'avoir un élément de mouvement plus considérable. En effet la course des excentriques est de 6 à 7 centimètres, la bielle fait, au contraire, au point A un chemin vertical de 25 à 29 centimètres; il s'ensuit que les pertes de mouvement, résultant du jeu, de l'usure et de l'élasticité des pièces, sont bien plus considérables dans le système à excentriques que dans celui-ci.

50. Du chassis extérieur. La machine est tout entière supportée par de grandes longrines extérieures (fig. 76) qui l'entourent sur les quatre côtés. Elles sont en bois de frêne, les côtés *n* ont environ 0,08 d'épaisseur sur 0,18 de hauteur, et sont couverts de plaques de tôle de 0,006 d'épaisseur fixées par un certain nombre de boulons rivés en fer. Les quatre pièces de bois sont assemblées à tenons et mortaises, et les angles sont consolidés extérieurement et intérieurement par des cornières en fer forgé et boulonnées ensemble. La boite à feu, la chaudière et la boîte à fumée sont fixées sur ce châssis par des supports en fer très solidement attachés (fig. 77) avec les parois de la chaudière par des boulons. Des plaques de forte tôle sont boulonnées au châssis de l'un et de l'autre côté de l'axe : ce sont les plaques de garde des axes; elles servent à soutenir les coussinets dans lesquels se meuvent les arbres et à maintenir ceux-ci. Ces plaques de garde ont à résister à tous les chocs qu'éprouvent les roues, et celles des roues motrices ont en outre à résister aux efforts horizontaux qui leur sont transmis par l'intermédiaire de l'axe coudé. C'est pour cela qu'elles sont reliées ensemble et armées par des tirans en fer qui assemblent toutes les plaques de garde entre elles (fig. 78), et qui vont ensuite se boulonner sur le châssis lui-même en *a*. Les plaques de garde des petites roues ont aussi un boulon à leur partie inférieure *b*, qui réunit les deux oreilles de l'extrémité.

En G (fig. 79) est une chaîne terminée par un crochet qui sert à attacher le convoi quand la machine le remorque en marchant en arrière et qui entre dans un anneau boulonné avec le châssis. Les tirans *aa* (fig. 76) servent à réunir le tender avec la machine, et doivent résister aux pressions et aux chocs qui s'exercent sur eux. Les roues sont couvertes pour empêcher le jet du sable ou de la boue qu'elles pourraient entraîner dans leur mouvement de rotation et qui saliraient les axes en frottement. Quelquefois on place le châssis longitudinal en fer en dedans des roues (fig. 79). Bury a adopté cette disposition dans ses machines. La partie du châssis suivant la largeur à l'extrémité est encore en bois, et les traverses en fer viennent s'y assembler en équerre à l'aide de boulons ; l'assemblage est consolidé par une cornière. Ces traverses sont d'une seule pièce, et les supports des ressorts s'y assemblent à recouvrement boulonné. Cette disposition a l'avantage de tenir moins de place que les châssis extérieurs, mais elle a des inconvéniens majeurs que nous indiquerons plus loin.

La pièce *e* (fig. 79), maintenue à peu de distance du rail et en avant de la machine, écarte les pierres qui se trouvent sur la ligne ; on peut d'ailleurs fixer cette pièce à une hauteur quelconque, puisqu'elle glisse dans les coulisses *c c'* : *f* est un tampon rembourré de crin, soutenu par un ressort à boudin pour les chocs ; les guides G des boîtes à graisse sont reliés au châssis par les boulons *b b'*.

La figure 79 *bis* indique le dessin du châssis employé par Sharp et Roberts Cette disposition réunit l'élégance à la solidité. La dimension, suivant le sens de la résistance, est de 20 centimètres. Cette forme a été adoptée pour permettre d'éviter les guides si longs qui étaient nécessaires pour les petites roues quand le châssis était horizontal. De cette manière le châssis se rapproche de chacun des axes et les guides sont égaux.

51. Des grandes traverses. — La figure 80 donne l'assemblage de ces traverses intérieures qui sont au nombre de quatre ou de trois, celle du milieu étant quelquefois bifurquée après

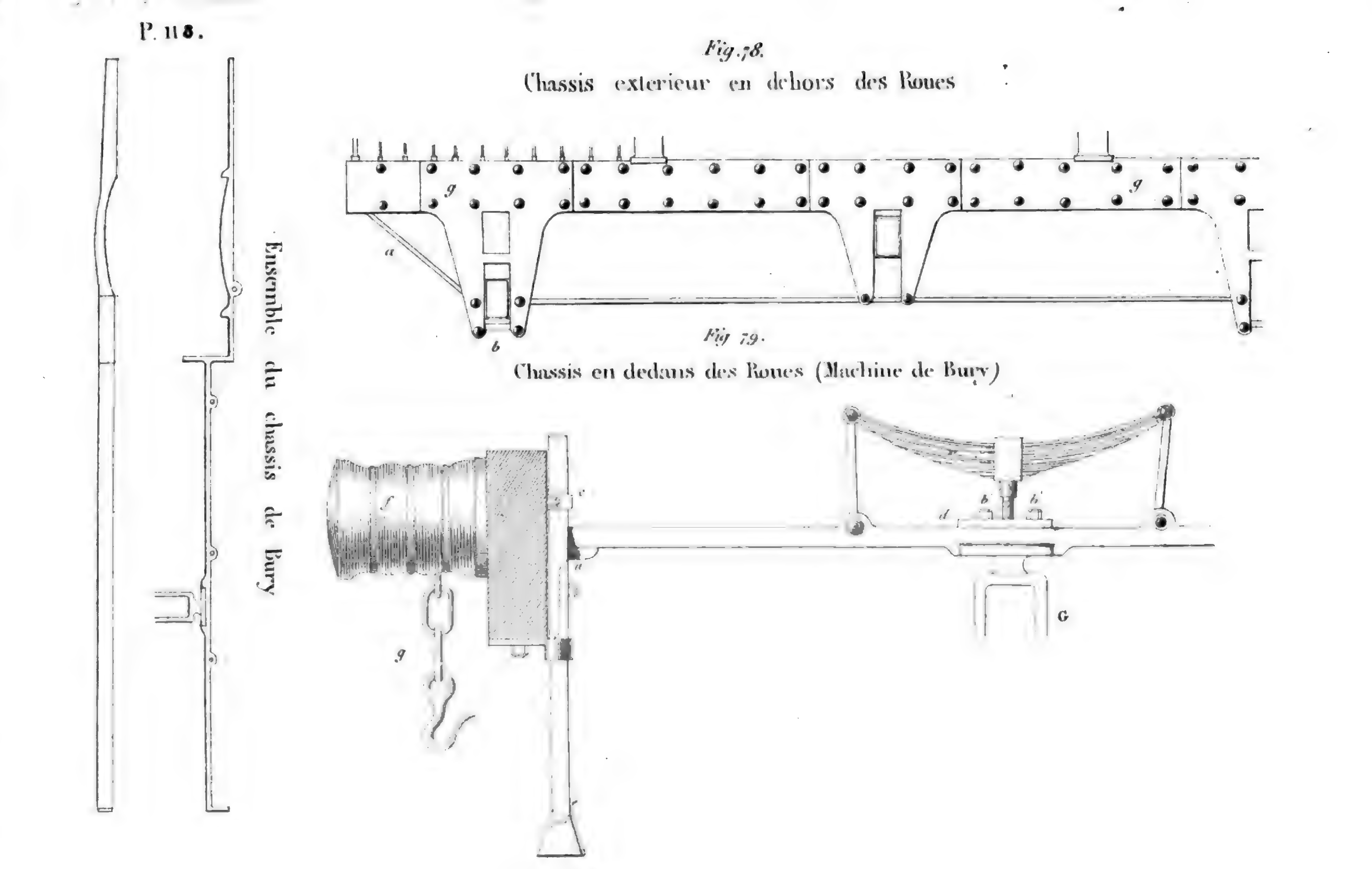


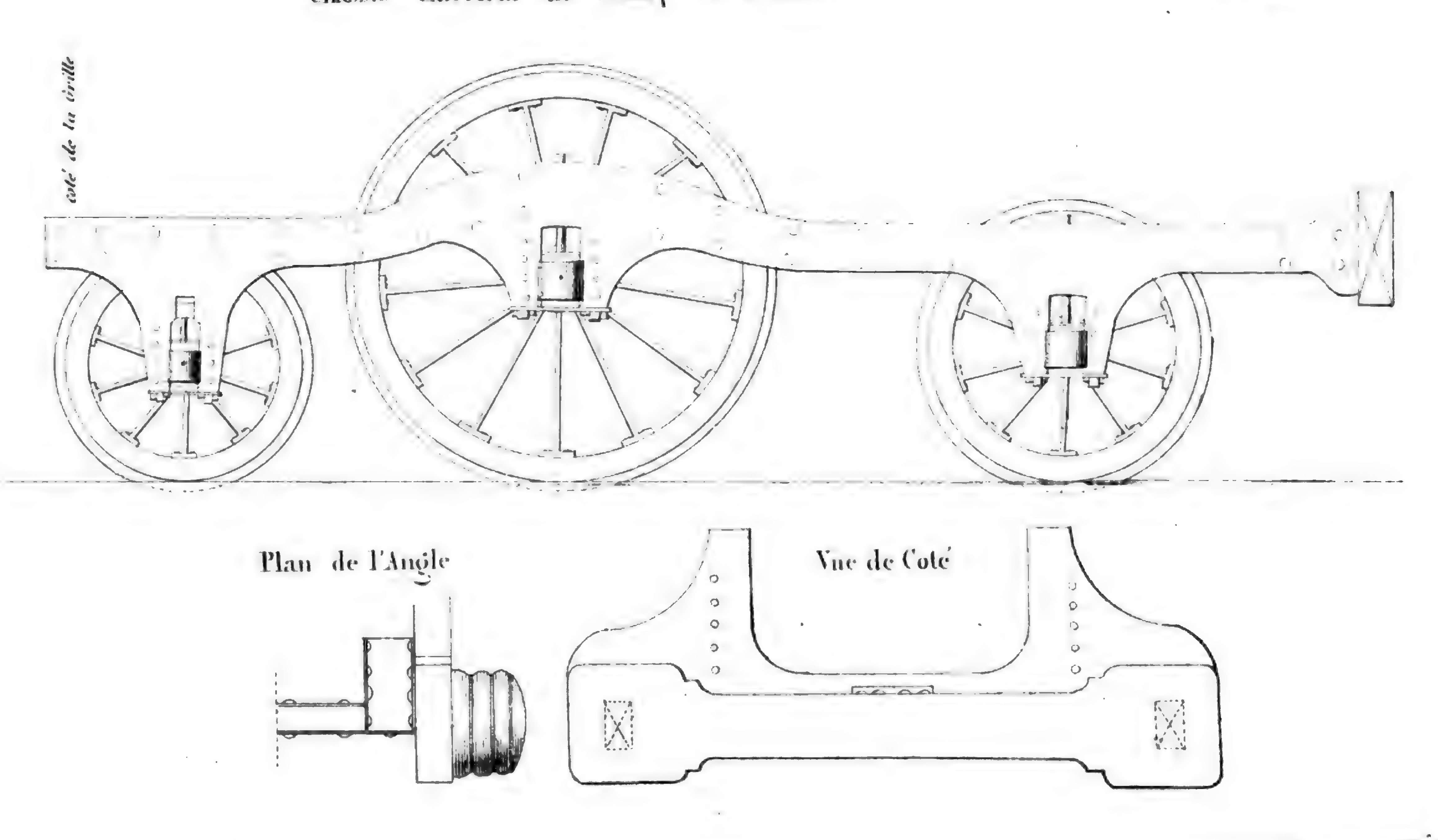
Fig. 78.
Chassis exterieur en dehors des Roues

Fig. 79.
Chassis en dedans des Roues (Machine de Bury)

Ensemble du chassis de Bury

Fig. 79 bis.

Chassis extérieur de Sharp et Roberts



l'axe moteur : elles sont en fer forgé et viennent s'assembler sur les parois intérieures de la boîte à feu et de la boîte à fumée. Les figures 80 et 80 *bis* donnent deux assemblages différens. Pour les premières employées par Tayleur, une pièce de fer entoure la boîte à feu qui a des oreilles à angle droit, sur lesquelles viennent s'assembler les traverses. Celles-ci servent à relier l'axe coudé à la boîte aux cylindres, et à rendre toutes les parties de la machine solidaires pour qu'elles puissent résister aux pressions du piston et aux ébranlemens. Elles soutiennent cet axe en trois ou quatre points, outre les deux tourillons extrêmes, et le rendent susceptible de résister aux pressions latérales que lui impriment les pistons, en avant ou en arrière, suivant la direction de mouvement,

Dans les machines de Stephenson, les axes appartenant à la distribution sont soutenus en quatre points par les grandes traverses. Ces traverses sont assemblées avec la boîte à feu et la boîte à fumée par des équerres en fer qui sont rivés avec les plaques de la boîte à feu et de la boîte aux cylindres (fig. 80).

Sur ces traverses sont assemblées à boulons les plaques qui servent à guider les tiges des pistons ; on est souvent obligé d'incliner ces grands traverses de la boîte à feu à la boîte aux cylindres pour permettre à l'arbre coudé de passer. Elles sont très peu épaisses, environ 0,007, et très larges, environ 0,09.

Jackson, dans sa dernière machine, a fixé le coussinet du milieu de l'axe coudé à la boîte à feu sans prolonger la traverse jusqu'à la boîte aux cylindres, mais cela paraît devoir transmettre des ébranlemens considérables à la boîte à feu. Nous donnons cette disposition, figure 81 ; le châssis en fer A est assemblé sur la boîte à feu avec des rivets, et reçoit la chape B à clavette et contre-clavette. Quelquefois les grandes traverses sont composées de deux plaques en fer, minces et accouplées comme les guides des boîtes à graisse ; en sorte que l'on place les coussinets entre ces plaques, tandis que souvent on se contente d'une seule plaque et on fait un renflement à la partie destinée à recevoir les coussinets, comme l'indiquent la figure 79 et la figure 80.

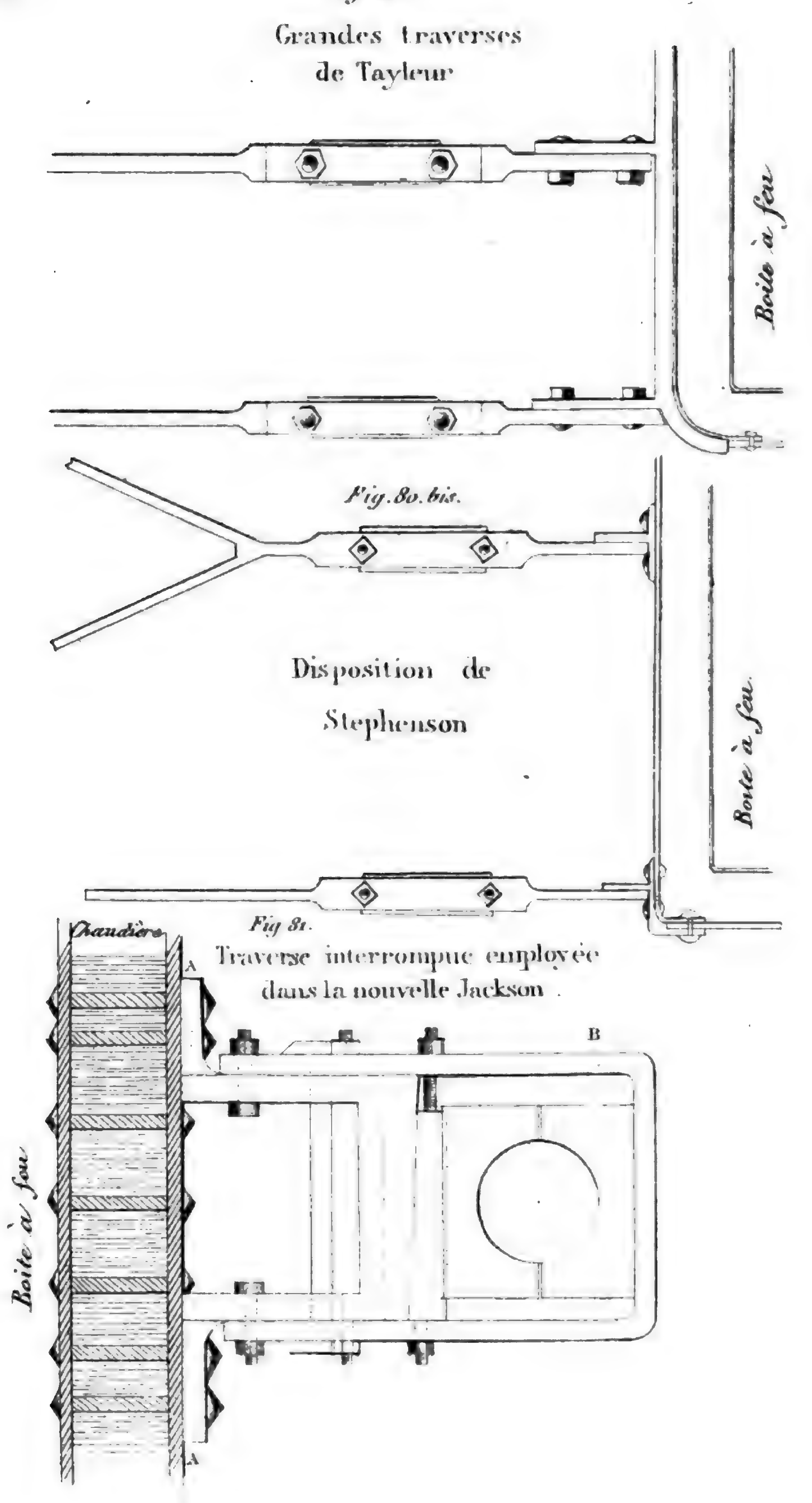
Dans les machines à quatre roues de Bury sont ménagées im-

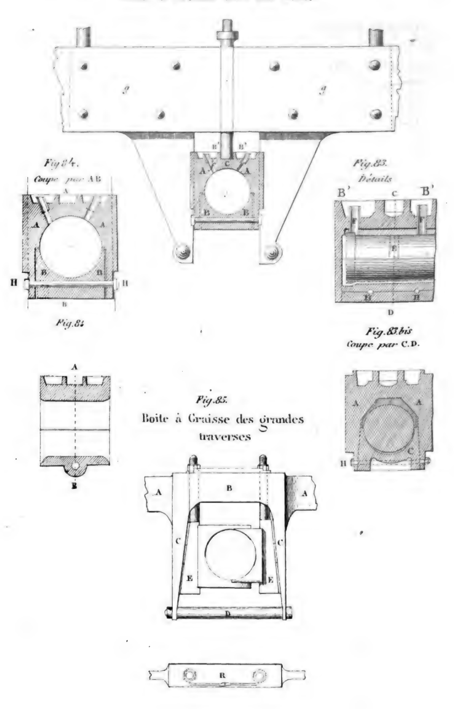
médiatement en dedans des roues, au-dessus des axes, des traverses en fer qui supportent tout le poids de la machine : cela donne à l'ensemble une apparence de plus grande légèreté, parceque les roues sont libres à l'extérieur ; mais cela nuit à la solidité générale. En effet, le châssis extérieur relie les côtés à l'avant et à l'arrière et rend la machine elle-même plus rigide. Il est d'un grand secours quand la machine sort de la voie, car elle est alors sujette à des soubresauts et à des chocs dont les effets destructeurs sont beaucoup amortis par la solidarité de toutes les pièces et principalement par ce châssis. Il est encore d'une très grande utilité et, pour ainsi dire, indispensable pour permettre au conducteur d'avoir accès à toutes les parties de la machine, même pendant la marche, car les roues sont couvertes par des garde-crottes, le châssis forme une sorte de plancher dont le mécanicien se sert pour aller visiter certaines pièces et graisser celles qui éprouvent de grands frottemens. L'absence de châssis extérieur et de traverses n'a point l'avantage de diminuer les frottemens. L'axe coudé n'est jamais aussi solidement contenu lorsque ses tourillons sont rapprochés du centre que lorsqu'ils le saisissent à ses extrémités. Dans le premier cas le parallélisme de l'axe coudé est plus difficile à conserver.

52. Des boites a graisse et des supports intérieurs. — Les plaques de garde dont nous avons parlé et qui se rattachent au châssis extérieur reçoivent les boîtes à graisse dans lesquelles les axes tournent. Elles sont généralement toutes semblables (fig. 82).

Les vides B'B' servent a contenir l'huile destinée à diminuer le frottement, et au centre une cavité *c* reçoit la tige qui communique la pression des ressorts.

La fig. 83 donne le détail des boîtes qui entrent dans les guides, telles que Stephenson les construit. AA est une boîte en fer fermée à l'extrémité et sur les côtés. L'intérieur de la boîte A est octogonal et reçoit les coussinets en bronze sur lesquels tournent les tourillons des axes. Au milieu de la longueur du tourillon on


Fig 80.
Grandes traverses
de Tayleur
Boite à feu
Fig. 80. bis.
Disposition de
Stephenson
Boite à feu
Fig 81.
Traverse interrompue employée
dans la nouvelle Jackson.
Chaudière
A
B
A
Boite à feu


Fig. 82
Boite à Graisse avec son Guide
Fig. 84.
Coupe par A B
H
H
Fig. 84
A
B
Fig. 83.
Détails
B'
C
B'
D
Fig. 83 bis
Coupe par C.D.
A
A
H
C
Fig. 85.
Boite à Graisse des grandes traverses
A
B
A
C
C
E
E
D
R

pratique sur le coussinet une saillie qui entre dans la cavité E et qui le retient sur ses guides. Les deux tubes F en bronze servent à permettre l'introduction de l'huile sur le tourillon et sont assemblés à vis sur le coussinet lui-même; dans ces tubes sont des mèches de coton qui plongent dans l'huile et qui forment siphon en alimentant constamment et d'une manière économique le tourillon. Le fond est fermé par une pièce en fer et est relié à la pièce A par des boulons H; la partie circulaire de cette pièce C (fig. 83 *bis*) n'est pas concentrique au tourillon, en sorte qu'il ne la touche pas. La partie supérieure de la boite à graisse est fermée par un couvercle en fer qui sert à protéger l'huile.

Jackson fait ses boites à graisse de la manière suivante (fig. 84). Toute la partie supérieure A est en cuivre, la partie inférieure B est en fer, et un seul boulon rend ces deux parties solidaires.

Quant aux supports ménagés dans les traverses intérieures, ils ont cela de remarquable que leur usure ne se fait sentir que dans les deux sens horizontaux; c'est donc dans ce sens seulement qu'on doit resserrer les deux parties du coussinet. A la partie où sont les supports les traverses AA ont un renflement. En B (fig. 85) un tirant D unit les deux oreilles du renflement CC, en passant dans un manchon qui s'oppose à leur rapprochement. Les deux coins EE sur les deux côtés présentent leurs faces parallèles aux coussinets, et frottent contre des portées d'ajustement ménagées dans les oreilles C et servent à serrer les coussinets quand ils s'usent latéralement. Ceux-ci dépassent de chaque côté les coins de manière à ne prendre aucun mouvement transversal. La pression de l'axe n'a jamais lieu verticalement, à cause de la disposition des ressorts qui reportent toute la pression sur les boites à graisse extérieures et sur les tourillons. Les deux écrous supérieurs ont sur l'axe des boulons deux petites roues dentées sur lesquelles vient s'appuyer un ressort faisant rochet R.

Cette même disposition est adoptée toutes les fois que les boulons sont soumis à de grands mouvemens, et qu'on veut éviter qu'ils se desserrent. Au milieu de la longueur de ce ressort est un point fixe pour lui permettre d'agir sur les deux écrous.

La fig. 86 donne la disposition adoptée par Jackson dans ses machines à quatre roues.

aa est une des plaques formant traverse et accouplée à une autre semblable entre lesquelles se placent les coussinets *bb* qu'on peut resserrer quand ils s'usent à l'aide des boulons *cc*; un double système de coins terminé par un taraudage et à double écrou retient les coussinets dans une position fixe; la plaque *d* relie les deux oreilles et reçoit la pression des écrous.

Nous donnons (fig. 87) la coupe d'une boîte à graisse qui est généralement employée pour les petites roues ou pour les axes de wagons : A et B sont des pièces en fer, *c* est le coussinet en cuivre sur lequel repose tout le poids de la machine; les boulons D servent à réunir les deux pièces A et B; l'axe ne porte jamais sur la pièce B.

53. Des ressorts. — Nous avons déjà dit que le poids de la machine est reporté sur chacun des axes par des ressorts ; ceux des roues motrices sont les plus forts et sont composés de 20 plaques en acier, ils sont attachés au-dessus du châssis extérieur (fig. 88). Les leviers articulés *c*, *b* qui se prêtent au mouvement de la machine retiennent les ressorts et reportent sur eux le poids de la machine elle-même. Les ressorts des petites roues à rebord sont au-dessous du châssis (fig. 89) et sont retenus par des leviers unis aux oreilles des guides par des boulons; une pièce rectangulaire en fer est fixée au centre de chacun des ressorts et est retenue par un boulon intérieur se prolongeant jusqu'aux boîtes à graisse qui supportent alors tout le poids de la machine excepté celui des roues et des axes. Cette disposition atténue beaucoup les effets destructeurs des chocs qui à de grandes vitesses détériorent toutes les parties de la machine.

La seule observation importante qu'il y ait à faire sur les ressorts, c'est qu'il faut qu'ils soient composés d'un certain nombre de lames du meilleur acier possible; il faut qu'elles soient toutes reliées deux à deux par un petit goujon ménagé dans l'une et entrant dans une mortaise pratiquée dans celle qui lui est immé-

Fig. 86.

Boite a graisse des grandes traverses

Fig. 87.

Coupe d'une boite à graisse employée dans les Wagon

Fig. 88.

Chassis extérieur, Boite à graisse avec son guide

Coupe suivant AB

Fig. 89.

Autre chassis avec les Ressorts en dessous

Fig. 89. bis

Ressort de choc du Tender

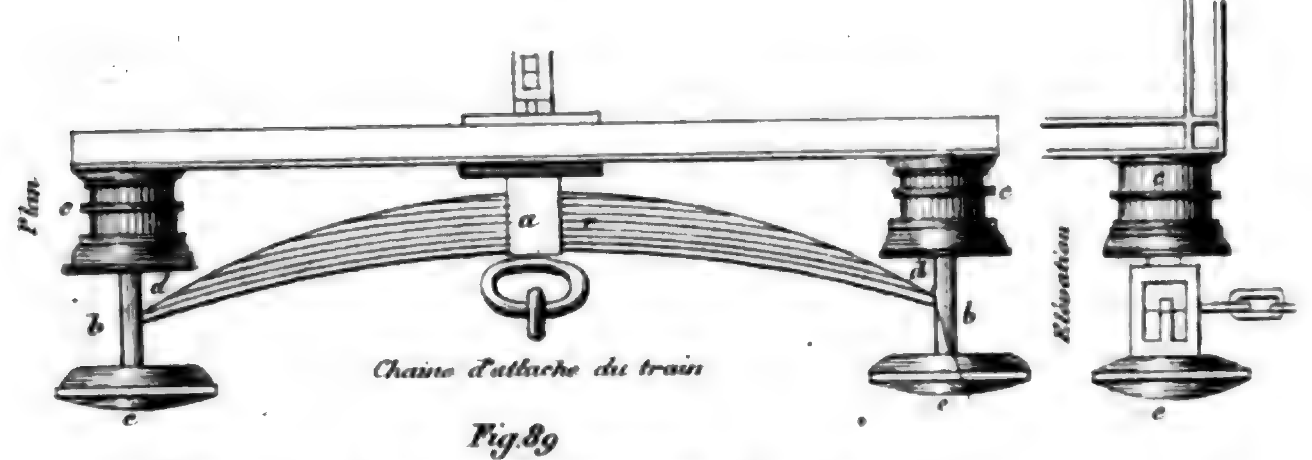
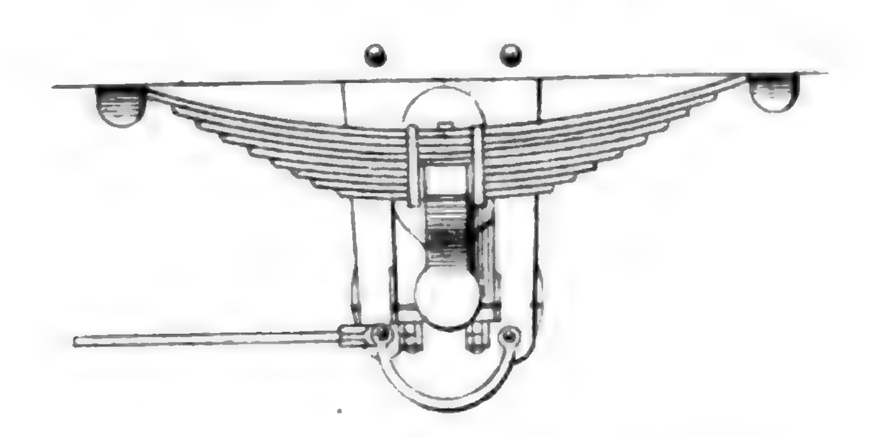


Fig. 89

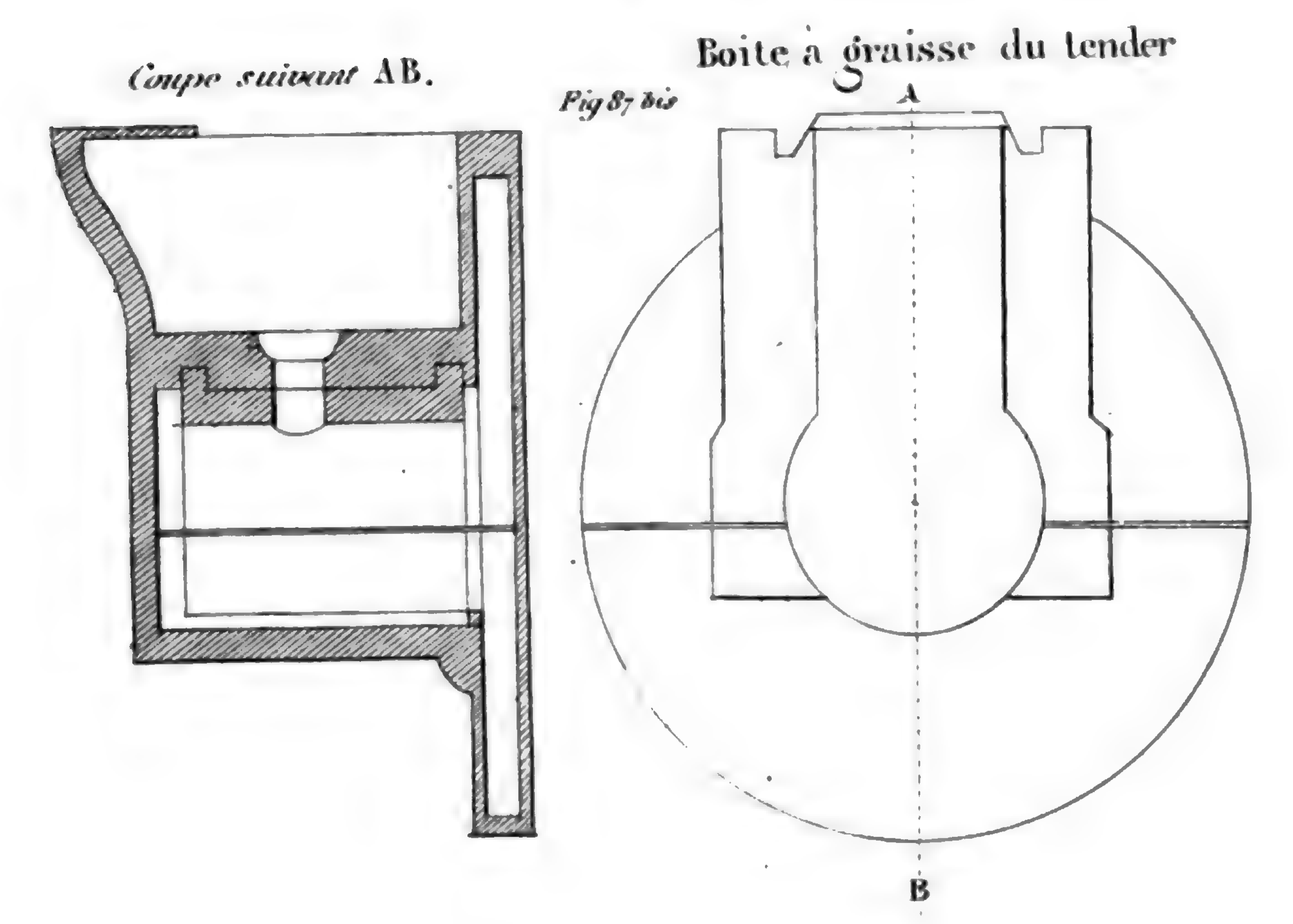
Ressort de suspension pour le Tender



Boite à graisse du tender

Coupe suivant AB.

Fig 87 bis



diatement inférieure; cela empêche les mouvemens horizontaux; la chape rectangulaire réunit d'ailleurs toutes ces lames entre elles. Il faut que les ressorts soient égaux en élasticité, que leur volée soit faible. La première lame doit être seule enroulée et fixée sur le goujon d'attache du ressort en *c*, fig. 88. Dans beaucoup de machines et particulièrement dans celle d'Hawthorn, on peut resserrer à volonté la tension du ressort des roues motrices afin de reporter une plus grande fraction du poids de la machine, et augmenter par conséquent l'adhérence puisqu'elle est proportionnelle au poids supporté par les roues motrices.

Aux extrémités du châssis de la machine sont fixés des coussinets en buffle rembourrés de crin, destinés à éviter les effets de choc quand la machine rencontre une autre voiture. Ces coussinets, dont nous avons montré la forme, fig. 79, sont ménagés pour le même chemin de fer à une même distance l'un de l'autre et à la même hauteur. De cette manière, les rencontres de deux voitures ne sont d'aucun inconvénient. Dans plusieurs machines ces coussinets contiennent intérieurement un ressort en spirale pour rendre leur action encore plus parfaite.

54. Des roues. — Les roues sont de deux espèces et au nombre de quatre ou de six suivant les constructeurs. Les premières machines étaient à quatre roues et rentrent dans la classe des premières locomotives de Jackson, que nous avons choisies pour type. Nous avons dit pourquoi on avait adopté les machines à six roues sur presque toutes les lignes. Cela a permis d'augmenter la surface de la grille et la charge en combustible. Cette disposition a corrigé presque complétement l'effet du plongement en soutenant de part et d'autre les roues motrices par quatre autres roues.

La construction de ces roues est d'ailleurs faite d'après les conditions de la plus grande solidité puisqu'elles supportent le poids de la machine et qu'elles transmettent tout le travail qui produit la locomotion. La jante doit présenter une assez grande adhérence et résister à l'usure particulièrement à l'angle de ses re-

bords; elle doit être solidement fixée aux rais qui, eux-mêmes, ont à résister aux efforts de flexion et d'écrasement. Les rais doivent faire corps avec les moyeux, et ceux-ci doivent être calés fortement sur l'axe coudé, de manière à ne faire pour ainsi dire qu'une seule pièce avec lui; en un mot l'axe coudé et toutes les parties des roues motrices doivent avoir entre elles une liaison telle que tout le système soit solidaire et fasse résistance de tous côtés.

Stephenson, dans sa machine à six roues, donne à celles qui sont montées sur l'axe moteur, le diamètre de 1^{m},52 (5 pieds anglais). Elles n'ont pas de rebord; les deux autres couples sont placés l'un en arrière de la boîte à feu, l'autre en arrièrede la boîte à fumée; elles ont 1^{m},06 de diamètre et sont à rebord intérieur pour les empêcher de sortir des rails. Elles sont calées invariablement aussi bien que les roues motrices sur des axes qui tournent dans les boîtes à graisse dont nous avons déjà parlé.

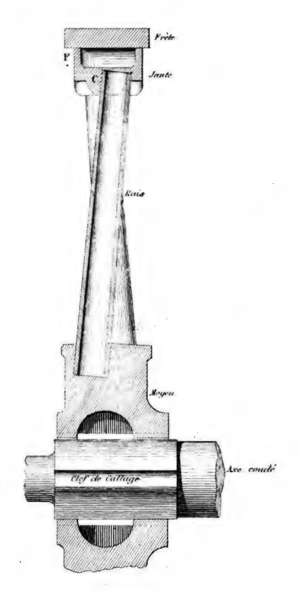
La construction de ces roues est donnée (fig. 90).

Les petites roues et les grandes roues ont la même construction. Le diamètre de l'axe moteur est de 0^{m},127. Le diamètre des tourillons, qui est de 0^{m}08, est le même pour les trois axes.

Les moyeux sont en fonte; ceux des grandes roues ont 0^{m},55 de diamètre; ceux des petites, 0^{m},40. Ils sont fixés à l'axe par quatre clés de serrage, entrant dans quatre rainures ménagées dans l'axe, et mandrinées. C'est sur ces quatre clés que repose tout le poids de la machine, et l'on peut, à l'aide de ce calage, centrer facilement et fixer invariablement les roues, qui sont ainsi maintenues à leurs distances respectives. Les vides ménagés dans le moyeu ne servent qu'à le rendre moins lourd. Les jantes F des roues sont en fonte de 0^{m},11 d'épaisseur : suivant toute la circonférence, un vide de 0^{m},06 est ménagé pour diminuer le poids; les oreilles inférieures C sont destinées à recevoir les rais, qui sont en fer forgé, d'un diamètre compris entre 0^{m},05 et 0^{m},06, et d'une épaisseur de 0^{m},02. Ils sont au nombre de 20, inclinés sur le plan de la roue, et fixés dans le moyeu et la jante de manière à aller d'un côté de l'une au côté opposé dans l'autre. Cette disposition est destinée à donner plus de résistance à l'ensemble

Fig. 90.

Coupe d'une Roue Motrice employée par Stephenson



de la roue, et à lui permettre de résister aux chocs et aux frottemens en maintenant son plan bien vertical. Pour faire l'assemblage des rais avec les moyeux, on enduit les deux extrémités de chacun des rais d'une couche de borax, et, après avoir bien bouché leur évidement, on les met dans le sable en communication avec le moule de la jante et du moyeu, en sorte que quand le métal en fusion approche ces extrémités le borax se fond peu-à-peu, et permet une complète adhérence en décapant les surfaces. Le moyeu est coulé le premier, et l'on a soin de le laisser pendant trois quarts d'heure dans le sable avant de couler la jante, car cette dernière se contracte beaucoup plus par le refroidissement en raison de son plus grand diamètre; cet effet tend alors à rapprocher les rais du centre, tandis qu'au contraire, si l'on coulait la jante et le moyeu en même temps, les contractions inégales de la jante et du centre, causeraient des ruptures ou des déformations dans l'ensemble de la roue. I est un cercle en fer qui sert à fréter la roue; il est en fer forgé, corroyé, arrondi au marteau suivant le diamètre des roues et soudé. Le cercle extérieur des roues non motrices est muni d'une saillie, la surface qui repose sur les rails est conique, et offre une inclinaison égale à celle qui est donnée à chaque rail vers l'intérieur de la voie. Cette disposition tend, à elle seule, à ramener constamment la machine dans la voie; dans les courbes où une roue doit parcourir un plus grand espace que celle qui lui est opposée la différence résultant de la conicité suffit à cet effet: les saillies ne servent qu'à maintenir les machines dans la voie, mais leur frottement contre les rails n'est jamais continu même dans les courbes. Les cercles des roues sont placés à chaud, et se contractent en refroidissant de manière à serrer fortement l'ensemble de la roue. Il est important que toutes les parties en soient bien fermement jointes, de manière à s'opposer aux changemens de forme que pourraient amener lespressions et les chocs, mais il est également très important de ne pas excéder dans le serrage à chaud les limites d'élasticité du fer, car les cercles se rompraient après quelque temps de travail. Les cercles sont fixés aux jantes par des boulons à têtes

noyées, et ils sont tournés par couple exactement de même diamètre.

Les roues motrices sont plus larges que les autres, et souvent sans rebords; ceux des autres roues suffisent pour maintenir la machine sur la voie.

Les roues des premières machines locomotives étaient entièrement en fonte; mais on a trouvé qu'il était difficile, et pour ainsi dire impossible d'éviter les contractions inégales dues à leur refroidissement; en outre, elles résistaient difficilement aux chocs auxquels elles étaient exposées. La fonte était aussi rapidement détruite à l'angle du rebord par son frottement sur le rail; en outre, on a remarqué que son adhérence était moins considérable que celle du fer.

On a essayé, sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, d'employer des rais en bois armés de fer, et on les a trouvé susceptibles d'une plus grande élasticité.

Nous donnons (fig 91) la coupe d'une petite roue employée par Stephenson, mais dont les rais sont en fonte et placés dans la fonte au moment de la coulée. Nous avons déjà expliqué pourquoi l'on ne pouvait adopter la fonte avec sécurité en raison des chocs violens auxquels les roues sont soumises. En *a* se place une des clés de calage qui sont au nombre de quatre.

Un système de roues tout entières en fer, excepté le moyeu, a été adopté par Jackson : ce système, dispendieux d'ailleurs, a cependant l'avantage d'une grande solidité. On forge à part les rais qui sont ordinairement au nombre de vingt. L'extrémité qui doit entrer dans le moyeu est légèrement bifurquée pour lui permettre de faire crochet dans la fonte en fusion. L'autre extrémité des rais qui sont pleins et à section circulaire, est fendue en deux parties plates qui sont recourbées suivant la circonférence de la roue en *a*, fig. 92. Par-dessus ces parties recourbées s'adapte un cercle en fer qui forme la jante et qui est réuni à ces oreilles par de forts rivets. On frête ensuite à la manière ordinaire la jante par un cercle en fer à rebords : sur la circonférence, sont d'autres rivets au nombre de cinq ou six, qui traversent les oreilles des rais, la jante en fer et la frête et viennent sortir exté-

Fig. 92

Système de Roues employé par Jackson

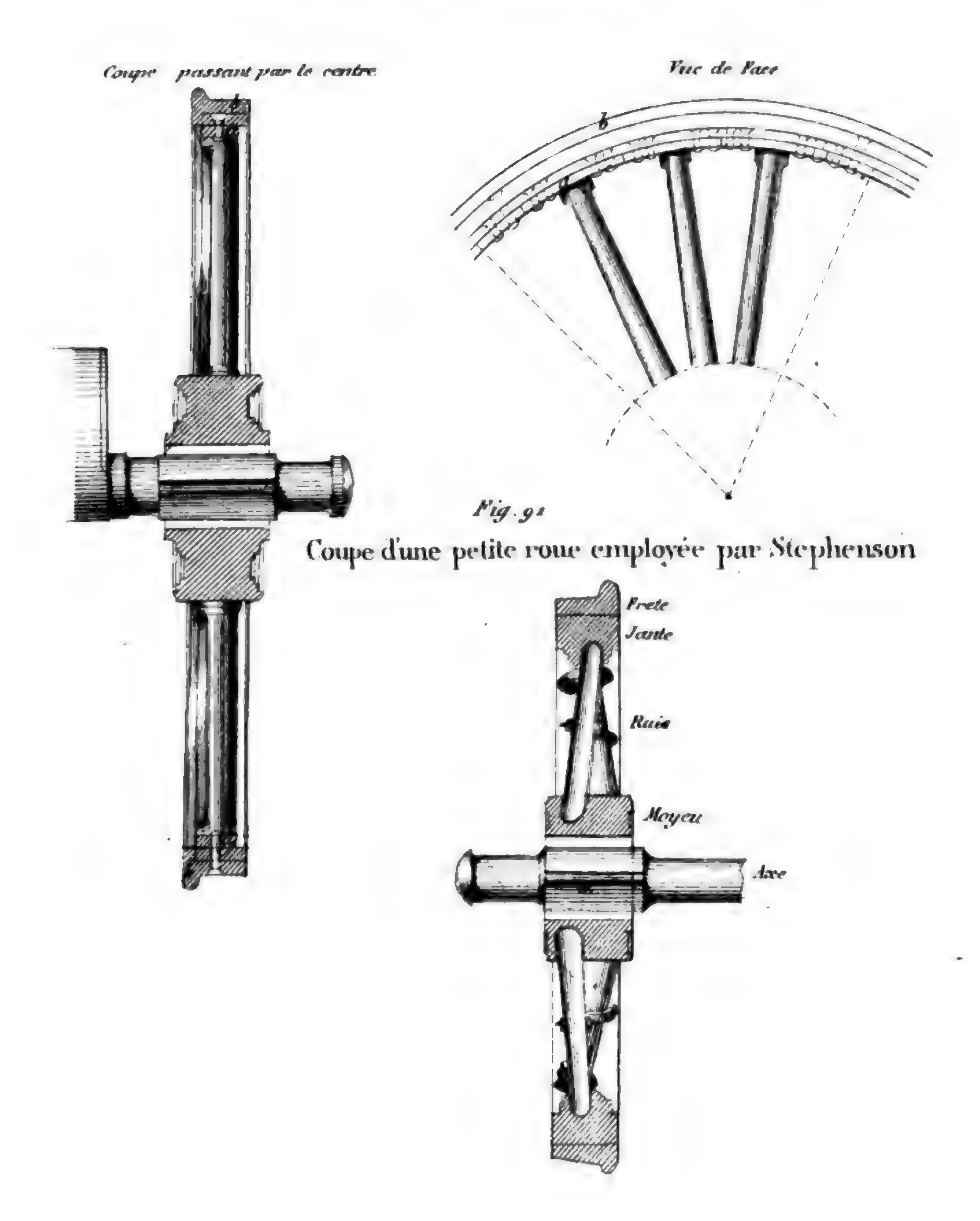


Fig. 91

Coupe d'une petite roue employée par Stephenson

rieurement à tête fraisée. La frête recouvre le côté intérieur de la jante comme on le voit en *d*; quelquefois elle ne le recouvre que de l'épaisseur de 3 à 4 millimètres.

On fait aussi des roues d'un seul morceau en fer, sauf le moyeu ; celles-là sont, sous tous les rapports, supérieures aux autres.

Le diamètre des roues des machines locomotives varie suivant le travail qu'elles ont à effectuer.

Ainsi pour le transport des marchandises, pour lequel on n'a besoin que d'une faible vitesse et d'un grand effort de traction, les roues motrices ont 4 pieds anglais (1^m,22) et 4 pieds $^1/_2$ (1^m,37) de diamètre, et elles sont accouplées avec les roues de devant, qui ont par conséquent les mêmes dimensions.

Pour le transport des voyageurs la charge est toujours restreinte : les roues motrices sont d'un plus grand diamètre que les autres; elles ont en général 5 pieds (1^m,53) ou 5 pieds $^1/_2$ (1^m,68) de diamètre. Quelques constructeurs en ont fait de 6 pieds (1^m,83), et il est probable que cette dernière dimension finira par être adoptée généralement.

L'augmentation de diamètre des roues est importante pour accroître la vitesse, et Brunel, dans son chemin de fer de Londres à Bristol, a donné aux roues motrices de ses machines locomotives des diamètres de 7, 8 et même 10 pieds anglais (2^m,13; 2^m,44; 3_m,05). Les résultats qu'il a obtenus ne sont peut-être pas aussi complets qu'il y avait lieu de l'espérer; mais cependant la vitesse a été accrue dans une grande proportion, puisque ces machines ont fait plusieurs voyages avec un poids de 40 tonnes d'une vitesse moyenne de marche de 14 à 15 lieues à l'heure.

Les petites roues des machines locomotives ont en général 3 pieds (0m,915) de diamètre : quelques constructeurs ont agrandi avec raison le diamètre des roues de devant des machines à six roues, et l'ont porté à 4 pieds (1_m,22). C'est une modification heureuse, parceque ces roues, ayant à supporter une fraction importante du poids de la machine, fatiguent beaucoup la voie quand leur diamètre est trop faible.

54. Des raccordemens de la machine avec le tender. — La machine est toujours accompagnée de son combustible et de l'eau qu'elle doit employer.

Le *tender* qui les contient est lié avec elle par un appareil (fig. 93) qui permet les mouvemens dans tous les sens ; ce qui est indispensable, parceque le tender suit rarement la ligne exacte que parcourt la machine sur les rails. A est la pièce de bois du châssis extérieur ; les plaques de fer *i d c* reçoivent le goujon *i* qui passe à travers la barre *b g h*, terminé à chaque extrémité par une douille ; les plaques de tôle EE sont de toute la longueur du tender. Nous donnons (fig. 94) le moyen d'attache employé par Stephenson. La différence qui existe entre ce mode d'attache et le précédent provient de ce que celui-ci est uniquement pris sur la boîte à feu, tandis que l'autre l'est sur le châssis.

Les pompes alimentaires relient la machine avec son tender par des tuyaux qu'on appelle raccordemens. On a essayé de les faire en cuir ou en caoutchouc, mais ils ont besoin d'une grande solidité, et il faut absolument les faire en métal afin de pouvoir chauffer l'eau du tender avec la vapeur en excès. On les fait ordinairement en cuivre, et l'on s'applique à leur donner un mouvement dans tous les sens.

Jackson et beaucoup de constructeurs emploient le raccordement indiqué (fig. 95 et 96). Les deux sphères *a*, *b* forment genou et permettent tous les mouvemens. Les deux tuyaux *c*, *d* ont un joint particulier ; une pièce *e*, taraudée intérieurement reçoit le tuyau *d* taraudé extérieurement. Le tuyau *f* se prolonge dans l'intérieur du tuyau *g*, et frotte sur les portées d'ajustement *i i'*, *b b*, et permet les mouvemens de côté en suivant un cercle perpendiculaire à la section du tuyau lui-même. Le collier H sert à suspendre le raccordement au plancher du mécanicien sans nuire aux divers mouvemens qu'il doit prendre.

La figure 96 est la vue générale en dessus.

A l'arrivée aux gares extrêmes, les conducteurs ont toujours besoin de séparer la machine de son tender pour les faire passer sur les plateformes ; dans ce cas il faut leur donner un moyen

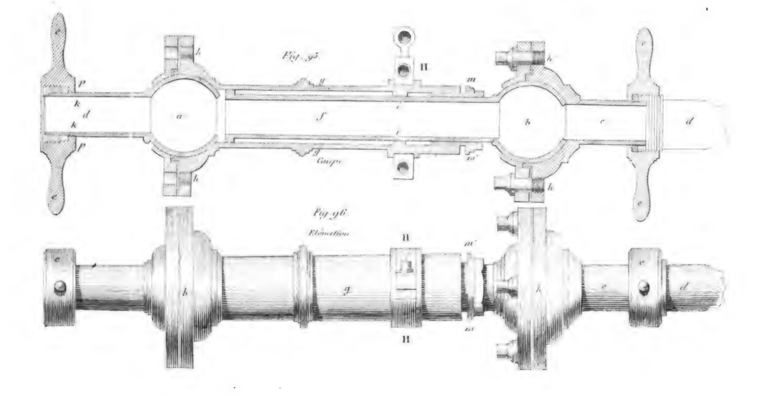
Fig. 93.

Attache du tender et de la Machine

Fig. 94.

Attache employée par Stephenson

P.129.



facile de faire cette séparation. D'abord le boulon d'attache est facile à retirer, puisqu'il n'est retenu à la partie inférieure que par une clavette, puis on dévisse l'un des manchons à vis *e*, et le tuyau *d* se sépare du tuyau *c*. Le manchon *c* frotte sur les tuyaux par les surfaces *p*, et vient butter contre un cercle R qui forme arrêt, et qui est goupillé sur le corps du tuyau *d*. Ce mode d'assemblage, qui ne laisse rien à désirer sous le rapport de la solidité, est surtout adopté pour permettre un démontage facile.

Le tuyau intérieur *f*, qui frotte, comme nous l'avons dit, sur les portées d'ajustement *ii* venues au cylindre extérieur *g*, est aussi en frottement sur un manchon *m* qui peut se resserrer quand il y a usure. Le tuyau *f* se retire ou rentre suivant que le tender s'écarte ou se rapproche de la machine. Les boulons *hh'* servent à resserrer les boules *a* et *b* quand il y a usure.

Il faut avoir soin avant de partir de graisser toutes les surfaces des frottemens. Nous avons dit quelle différence de pertes de force on obtenait en mouillant les surfaces au lieu de les graisser.

Nous donnons (fig. 97 et 98) la vue de face et le plan d'un nouveau raccord qui va être employé généralement pour toutes les machines du chemin de Saint-Germain. On a remarqué en effet que les autres systèmes perdaient tous l'eau, sans exception; au contraire, les pertes pour celui-ci sont très rares, et pour ainsi dire négligeables. Il est composé de six joints coniques *a b c a' b' c'*. Les tuyaux sont en cuivre et entrent les uns dans les autres, comme l'indique la coupe (fig. 99). La partie mâle est tournée conique, et entre dans la partie femelle alesée. Ces joints sont consolidés par des brides telles que *d* en fer ayant à leur partie supérieure une vis de pression, et pouvant tourner autour de deux points fixes attachés avec des boulons dont le taraudage est noyé dans le cuivre *kk'*. Tous les joints sont faits de la même manière, et permettent les mouvemens dans tous les sens; savoir : les trois premiers *a b c* dans le plan horizontal et *a' b' c'* dans le plan vertical. Quand le tender se rapproche de la machine, les joints *a' b' c'* font une petite rotation, le point E se rapproche du point D, le point T s'incline vers CD, et le rapprochement est pos-

sible de même quand la machine s'abaisse et s'élève. Les mêmes joints *a' b' c'* agissent pour tous les mouvemens horizontaux : ce sont les joints *a b c* qui font une petite rotation, et ces mouvemens sont continuels. Les joints à boule ou joints universels remplissent le même objet que ces six joints, parcequ'ils peuvent permettre les mouvemens dans tous les sens; mais ils ont l'inconvénient d'être coûteux, difficiles à faire, et de perdre l'eau. Ce nouveau raccord est donc plus avantageux que l'ancien sous ce triple rapport. Quand on veut séparer la machine de son tender, ce qui arrive assez fréquemment, comme nous l'avons déjà expliqué, la manœuvre est très simple : on desserre la vis de pression, la bride tourne autour des boulons *kk'*, et le cône se sépare du tuyau qui le reçoit. La partie CD reste après la machine, et la partie *ab* après le tender. Le coude C se trouve contre la galerie du mécanicien, pour que la partie horizontale inférieure soit assez haute pour ne pas être gênée par les obstacles qui pourraient se rencontrer sur la ligne. Le robinet *v* sert à mettre les tuyaux de raccord en communication avec la chaudière; quand on veut alimenter, les manchons *mm'* servent à suspendre le raccordement à la machine et au tender par des chaînes composées en partie d'un ressort à boudin pour éviter les chocs brusques.

56. Du tender. — Le tender contient l'eau, le coke et tout ce qui est nécessaire au mécanicien, soit pendant la marche, soit en station. La construction générale n'offre d'ailleurs rien de remarquable, et elle varie suivant les constructeurs. A l'arrière du tender sont deux coussinets en peau de buffle *ee* correspondant aux coussinets de crin qui existent à chaque voiture et à la machine elle-même (fig. 89 bis, pag. 123). Ces coussinets ont une tige circulaire *b* en fer entrant dans un manchon *c* et correspondant à un ressort *r* qui amortit le choc. L'anneau *g* qui sert à atteler le train est terminé par une pièce rectangulaire en fer *a* dans laquelle passe le ressort; celui-ci est lié aux points *bb* aux tiges des cous-

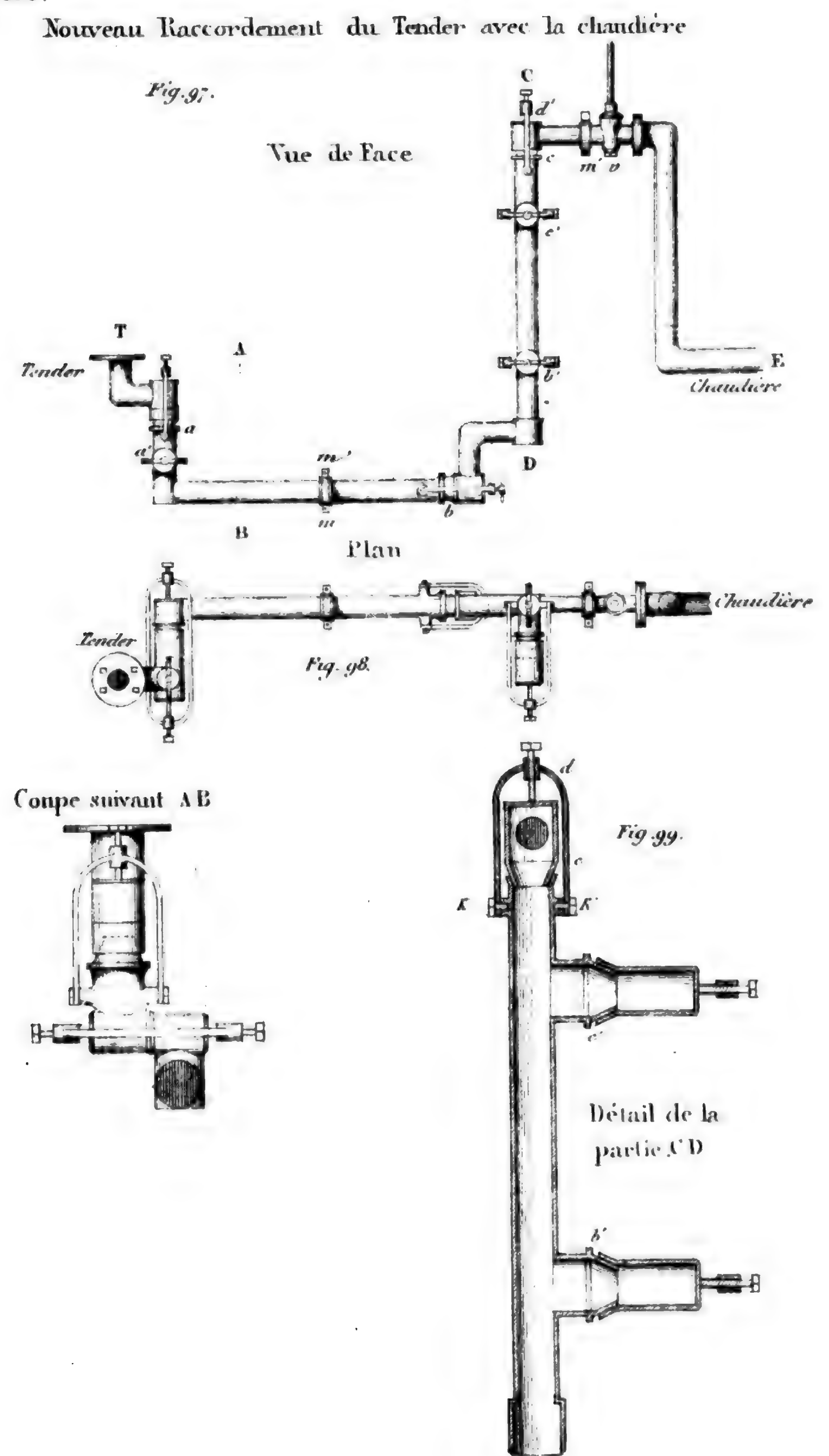
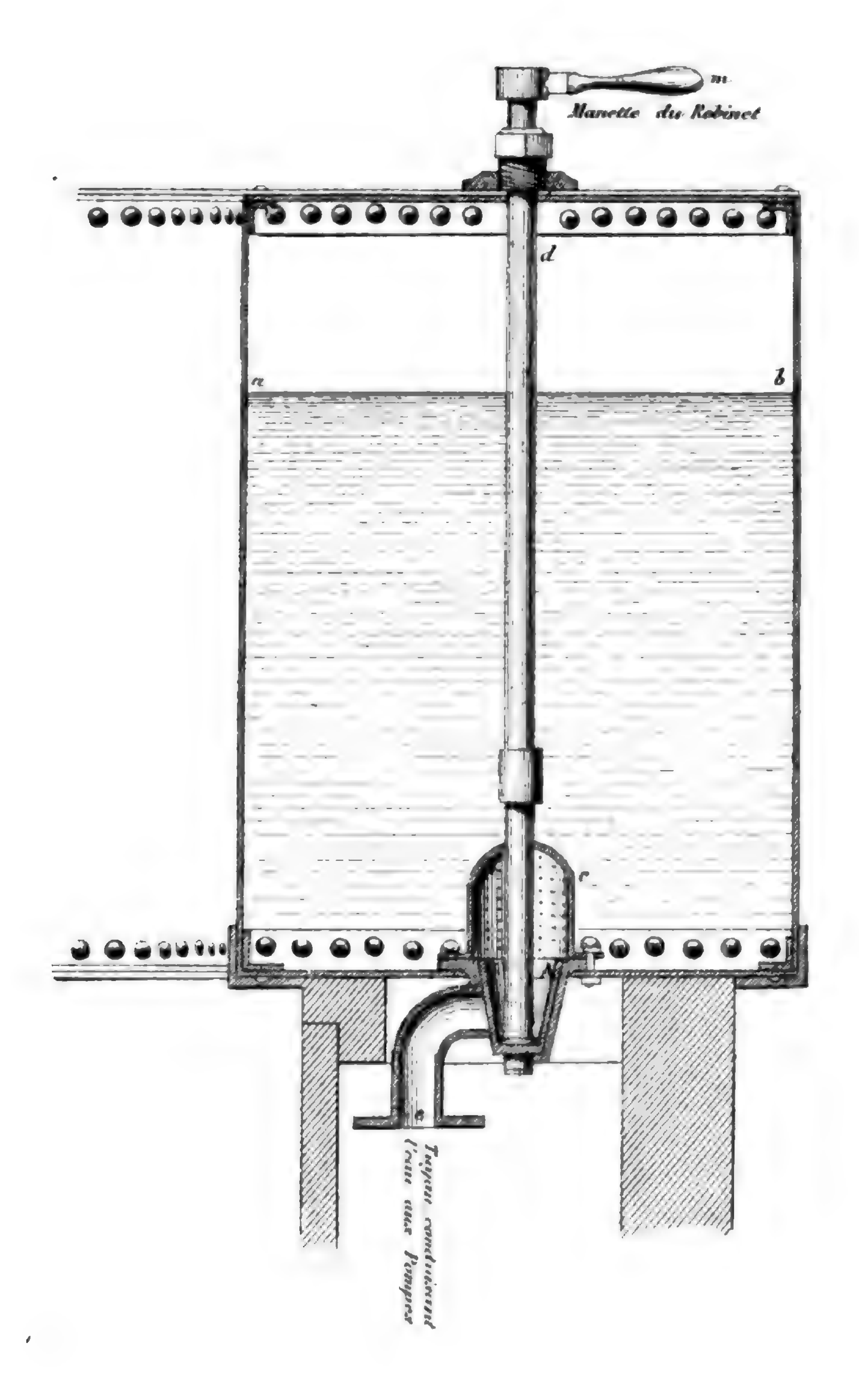

Pl. 130.
Nouveau Raccordement du Tender avec la chaudière
Fig. 97.
Vue de Face
C
d'
c
m'
v
T
Tender
A
a
a'
m'
c'
b'
D
E
Chaudière
B
m
b
Plan
Chaudière
Tender
Fig. 98.
Coupe suivant AB
d
Fig. 99.
c
K
K'
c'
Détail de la partie CD
b'



Fig. 100.

Coupe du Réservoir d'eau du Tender



sinets. Voir l'élévation arrière du tender indiquant la liaison du coussinet avec le ressort.

Les roues sont au nombre de quatre et quelquefois au nombre de six; elles sont en fonte, d'une seule pièce frétée par un cercle en fer à rebords, et sont calées sur l'essieu. Les boîtes à graisse sont analogues à celles des machines; les ressorts s'appuient sur le châssis extérieur, fig. 89. Les guides des boîtes à graisse sont d'ailleurs reliées entre elles par des tirans *t* à la manière ordinaire.

Le réservoir à eau est composé de feuilles de tôle de 0,005, rivées ensemble et réunies aux angles par des cornières; il est supporté par des pièces en fer inclinées et boulonnées au châssis. La partie supérieure du réservoir est couverte d'une boîte en tôle divisée en quatre compartimens, destinée à contenir divers objets dont le conducteur de la machine a toujours besoin, tels que les graisses, les huiles, les chiffons, les étoupes. Les tuyaux de pompe viennent prendre l'eau de ce réservoir dans un petit chapeau métallique généralement conique, fermé de toutes parts et percé d'un grand nombre de trous pour éviter que les matières étrangères puissent s'introduire dans les corps de pompe.

L'espace milieu du tender, au-dessous du réservoir, est rempli par le coke.

La figure 100 donne une partie de la coupe du réservoir d'eau dont le niveau va jusqu'en *ab*; la coupe est semblable de l'autre côté de l'axe du tender. Un robinet à tige verticale A permet l'introduction de l'eau dans le tuyau de la pompe; le filtre *c* est indispensable, car le moindre corps étranger empêcherait le jeu des soupapes; la manette *m*, à la portée du conducteur, permet de régler la section d'écoulement de l'eau dans la pompe.

57. DES FREINS. — L'appareil le plus important à connaître dans le tender est le frein qui sert à modérer la vitesse de la machine. Cet appareil s'appuie sur les roues et engendre un frottement qui s'oppose au mouvement de la machine.

Un des plus simples est le suivant, qui ne s'appuie que sur une des roues (fig. 101). Un bloc en bois B taillé circulairement à la

partie qui regarde les roues est lié avec une plaque de fer et tourne autour d'un point fixe attenant au châssis du tender; le levier L sur lequel on appuie produit la pression du frein sur les roues, quelquefois le serrage par un levier ne semble ni assez énergique ni assez progressif; alors on adopte la disposition à vis que nous avons indiquée (fig 102.) Il est évident d'ailleurs que plus la circonférence de la roue es embrassée suivant un plus grand axe, plus le serrage est puissant.

Le frein agit d'une manière plus efficace quand il serre sur les deux roues; la fig. 103 donne la forme la plus simple d'un frein double: le levier fait tourner la manivelle *m* autour du point fixe A, et celui-ci relève le bloc de bois qui s'appuie alors sur les roues.

Le frein le plus généralement employé sur le chemin de Saint-Germain est celui que nous donnons ici fig. 104. Un palier attenant au châssis du tender supporte le point fixe B autour duquel tourne le balancier *cc'* qui resserre les blocs sur les roues par l'intermédiaire des tiges *dd'*; on règle le serrage soit par la position du levier L sur les points d'arrêt de la barre B, soit en augmentant la longueur des tiges *dd'* par l'intermédiaire des écrous *aa'*. Une construction plus simple de double frein est montrée dans la figure 105; il présente une plus grande simplicité dans ses détails de construction et il a autant d'efficacité.

On a imaginé un système à coins que nous donnons fig. 106. Les deux montans AA' tournant autour des deux points fixes *bb'* sont mus par les deux coins renversés CD et permettent le serrage ou le desserrage des freins, par l'intermédiaire de la tige à vis T: quand on tourne de droite à gauche, on relève les coins et D serre sur les deux barres AA' qui transmettent la pression aux roues par l'intermédiaire des blocs *gg'*; quand on tourne de gauche à droite, on rabaisse les coins et C desserre les freins. On comprend d'ailleurs que ce serrage et ce desserrage ont lieu instantanément.

Stephenson emploie un frein indiqué dans la figure 107: les quatre points *aa'* sont articulés; en levant ou en baissant la tige *t*,

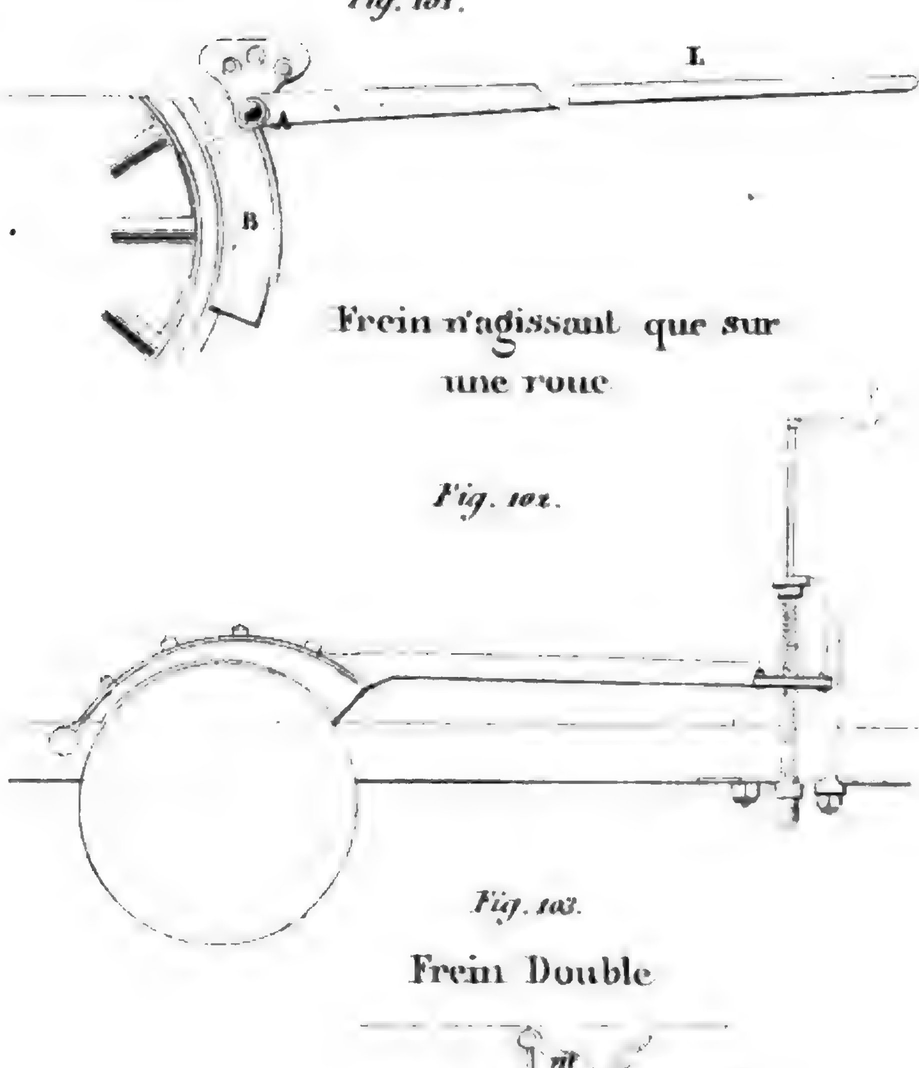


Fig. 101.

Frein n'agissant que sur une roue

Fig. 102.

Fig. 103.

Frein Double

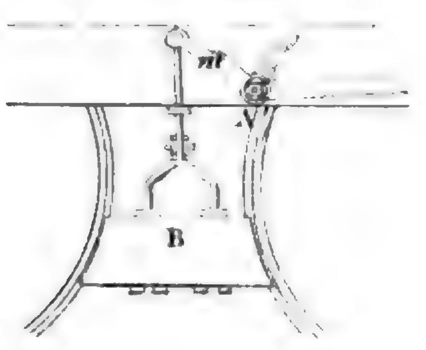


Fig. 104.

Frein employé sur le chemin-de Fer de S[t]. Germain

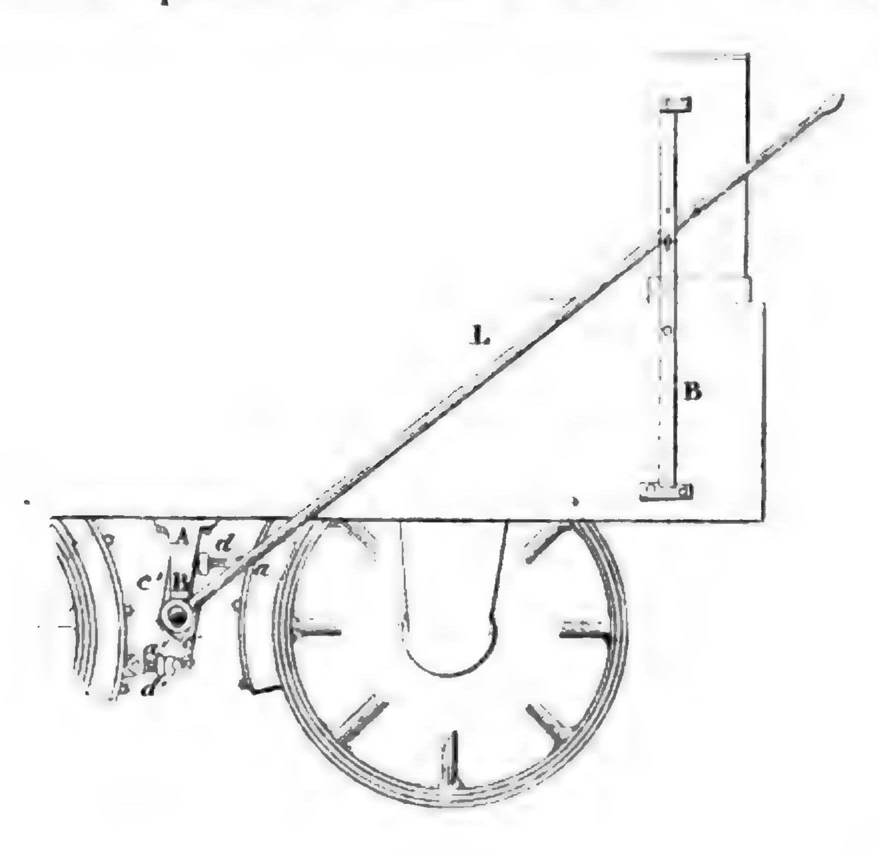
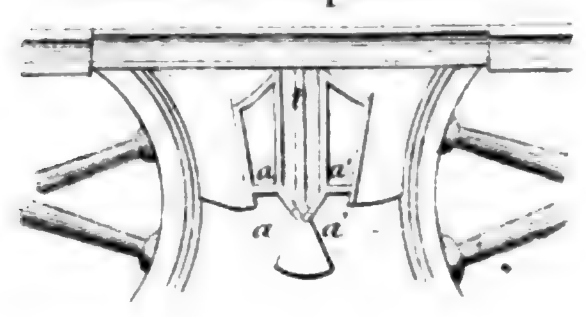


Fig. 105.

Fig. 106.

Fig. 107.

Frein de Stephenson.



on desserre ou on resserre les freins. Ce système présente toutes les conditions de solidité et d'efficacité.

Le frein adopté par Hawthorn (fig. 108) pour le tender de sa machine, a beaucoup plus de puissance que les précédens ; aussi faut il en user avec beaucoup de précaution pour éviter les ruptures : en effet, le levier *b* tournant autour du point fixe fait tourner le balancier et serre les pièces de bois contre les roues par l'intermédiaire des deux tirants *t*, *t'* de manière qu'en appuyant sur *l*, *aa'* serrent par le bas et *a" a'"* serrent par le haut, au contraire en soulevant le levier *l* le serrage est inverse. Il n'y a que pendant que le balancier est vertical que les freins n'agissent pas ; au contraire, quand ils agissent, leur énergie se fait sentir en huit points sur les quatre roues, s'il y en a des deux côtés, et sa puissance est très grande.

Les deux freins dont nous donnons encore le dessin sont applicables aux diligences et aux wagons.

Le frein (fig. 109) s'applique sur les deux roues : en relevant la fourche *f*, les leviers *ll'* tournent autour de leur articulation, deviennent horizontaux, et resserrent les blocs sur les roues ; quand on baisse la fourche, les leviers s'inclinent, leur longueur horizontale diminue, et les blocs se séparent des roues.

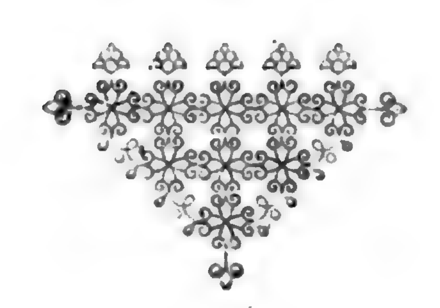
Le second (fig. 110) est composé d'un balancier *b* dont les deux extrémités ont des articulations avec les deux tiges *tt'*. Quand on appuie sur la manette qui termine le levier *l*, on fait tourner le levier *t* autour du point fixe *f*, et on serre le frein sur la roue ; le même mouvement, mais inverse, s'exécute sur le levier *t'* tournant autour du point fixe *f'*.

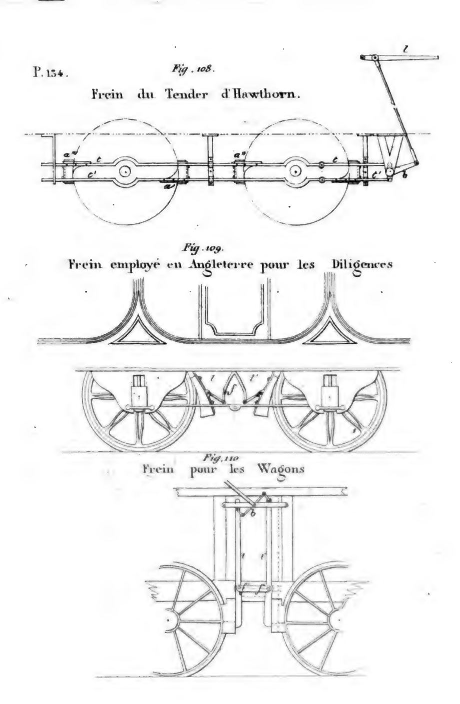
Nous terminerons ce que nous avons à dire sur le tender en signalant les dispositions qui existent dans la plupart des machines pour chauffer l'eau du tender. Sur le tuyau de la pompe alimentaire est une tubulure à brides sur laquelle vient s'assembler un tuyau droit qui va prendre la vapeur au sommet de la chaudière, et l'amène dans le réservoir d'eau par l'intermédiaire des pompes ; quand elles ne marchent pas et qu'il y a un excès de vapeur dans la chaudière, ce qui arrive pendant les momens d'arrêt

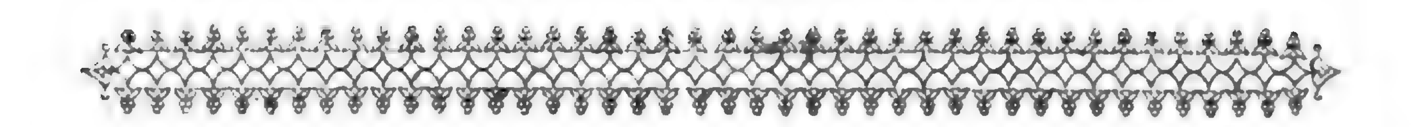
et dans les descentes, cette vapeur va se condenser dans le réservoir et en échauffe l'eau. Le robinet de ce tuyau est à la disposition du conducteur. Quand il est arrêté il doit l'ouvrir, et ouvrir en même temps les robinets des pompes alimentaires; cela soulage les soupapes et économise du combustible.

Nous ferons remarquer en terminant, que nous n'avons eu d'autres but que de donner, dans cette partie de notre travail, une description succincte des machines locomotives et des conditions de travail que remplissent les pièces qui les composent, afin de faciliter pour les conducteurs l'intelligence de leur conservation. A tout autre point de vue, cette description serait très incomplète et nous devons mettre en garde les constructeurs contre la pensée qu'ils pourraient avoir d'y trouver des indications sur les questions qui, dans les machines locomotives, sont encore l'objet d'incertitudes ou de systèmes différens.

Nous avons même évité d'entrer dans de trop grands détails, qui nous auraient fait dépasser le but que nous voulions atteindre.




P. 134.
Fig. 108.
Frein du Tender d'Hawthorn.
Fig. 109.
Frein employé en Angleterre pour les Diligences
Fig. 110
Frein pour les Wagons



TROISIÈME PARTIE.

NOTIONS PRATIQUES DE CONDUITE DES MACHINES LOCOMOTIVES.

---

58. Examen de la machine[1].

— Un mécanicien auquel est confiée la conduite d'une machine locomotive doit, avant de se placer en tête du convoi, en faire un examen assez détaillé pour s'assurer qu'elle peut travailler sans danger apparent de rester en route faute de produire assez de vapeur, ou par suite de manque ou de rupture de pièces.

Cet examen doit se faire dans l'ordre suivant.

59. De la chaudière. — On vérifie d'abord l'état de la chaudière : on examine si elle ne fuit pas du côté du feu, par les joints d'assemblage des tubes, par la porte du foyer et les cornières du porte-grille ; ce sont les points où les fuites se déclarent ordinairement. Du côté de la cheminée on défait la plaque de la caisse à fumée, pour s'assurer si les tubes et les différens joints des boîtes d'introduction de vapeur dans les cylindres ne laissent pas de fuite d'eau ou de vapeur.

Il arrive souvent que des fuites d'eau ont lieu par les parties que nous venons d'indiquer ; mais lorsque, la machine restant immobile, les fuites n'empêchent pas le feu du foyer de faire monter la vapeur à la pression de travail, en donnant lieu à un

[1] Nous supposons que la machine est en feu et disposée pour la marche, parce que ce n'est que sous la pression habituelle de vapeur que l'examen d'une machine peut se faire convenablement.

dégagement assez intense de vapeur par la soupape, on peut se mettre en route avec sécurité. Les fuites des rivets inférieurs de l'enveloppe du foyer sont surtout de peu d'importance, parceque l'eau qui s'en dégage ne traverse pas la masse du combustible.

Lorsque le service immédiat de la machine est indispensable et que des fuites assez fortes n'ont lieu que par deux ou trois viroles, on les bouche au moyen de coins en bois enfoncés à coup de chasse.

Le mécanicien termine l'examen de la chaudière en faisant passer la soupape mobile de la pression habituelle, qui doit être, en station, de 40 livres, à la pression 50 livres, par pouce carré anglais, qui est celle de travail[1].

Dans les chaudières dont les boîtes à feu offrent des surfaces planes, les deux enveloppes sont retenues l'une à l'autre par des boulons intérieurs dont le taraudage prend dans les enveloppes et qui sont rivés des deux côtés : il arrive souvent que plusieurs de ces boulons sont brisés par la traction qu'ils éprouvent, et alors les surfaces de la boîte à feu ainsi détachées s'écartent et se bombent lorsque la pression arrive au point habituel de la marche. Cet accident doit être signalé soigneusement aux ateliers, parcequ'il peut en résulter le déchirement d'une partie de la boîte à feu sous l'effort de la pression.

On vérifie si les barreaux du foyer sont à leur place, s'il n'en manque pas, s'ils n'ont pas été faussés par la trop grande chaleur, de manière à donner lieu à des espaces trop larges entre eux.

Si les joints d'assemblage des différentes pièces qui sont rattachées à la chaudière donnent lieu à des fuites, par suite du relâchement des écrous de ces joints, on les resserre. Si les fuites ont lieu par ces joints, soit par manque de garniture, soit parceque les surfaces du métal ne porteraient pas exactement l'une contre l'autre, le mécanicien bouche provisoirement les fuites avec des lames de plomb en biseau qu'il introduit dans l'ouverture par où

[1] Cette pression équivaut à 3, 50 kil. par centimètre carré.

s'échappe la vapeur, et qu'il matte avec une petite chasse ou un burin dans cette ouverture. Les joints des pièces rattachées à la boîte à feu et ceux des pompes d'alimentation doivent être aussi scrupuleusement examinés et rendus étanches autant que possible.

Il arrive quelquefois que des fuites ont lieu par le raccordement des grandes traverses à l'enveloppe extérieure de la boîte à feu, parceque ces traverses ne se prêtent pas à la dilatation qu'éprouve le corps de la chaudière. Si ce raccordement est à clé, il faut alors le desserrer un peu; s'il est fixe, il faut signaler cet inconvénient aux ateliers. Il en est de même du raccordement des cornières qui retiennent le boulon d'attache du tender avec l'enveloppe extérieure de la boîte à feu; ce raccordement, souvent ébranlé par des chocs, donne presque toujours lieu à des fuites qu'il faut signaler aux ateliers quand elles prennent de l'importance.

Il est aussi important de s'assurer si la boîte à fumée n'offre pas quelque passage à l'air extérieur, ce qui nuirait notablement au tirage. Souvent la porte de cette boîte, qui est de grande dimension, se déforme à cause de la différence de température entre les faces intérieures et extérieures, de sorte qu'il est difficile de la faire joindre parfaitement dans sa feuillure. Le mécanicien doit dans ce cas prendre du chiffon ou de l'étoupe et calfater toutes les fissures. Il doit visiter également la petite porte inférieure qui sert à vider les cendres et s'assurer qu'elle est bien fermée; car cette porte est située quelquefois au-dessous de la boîte à fumée, et, pour peu que le loquet ait trop de jeu, elle s'ouvre d'elle-même en route. Le mécanicien voit alors diminuer son tirage sans se rendre compte de ce qui est survenu. Enfin il faut examiner si la cheminée est bien fixée sur la boîte à fumée, car l'air extérieur s'introduit souvent par ce joint si les boulons d'assemblage ne sont pas parfaitement serrés.

60. Des garnitures des boites a étoupes; des robinets. — Le mécanicien vérifie si les boîtes à étoupes sont suffisamment gar-

nies pour laisser du serrage ; il desserre un peu celles qui paraissent donner trop de frottement par l'excès de serrage du chapeau de la boîte. Il vérifie cet excès de frottement de différentes manières : pour les boîtes des tiroirs, en les faisant jouer à la main avec les manettes et sans pression de vapeur ; lorsque les boîtes à étoupes des tiroirs sont trop serrées, le jeu des manettes est difficile. Quelquefois aussi cette difficulté tient au grippement des arbres concentriques ou des colliers d'excentrique, ainsi que nous le verrons plus loin. Pour s'assurer que les boîtes à étoupes des tiroirs ne perdent pas de vapeur, le mécanicien y introduit de la vapeur en ouvrant le régulateur.

Quant aux robinets, le mécanicien vérifie si les écrous qui servent à les empêcher de remonter sont suffisamment serrés. Cette vérification est surtout importante pour le robinet inférieur de la boîte à feu, parcequ'il arrive que pendant la marche les vibrations du travail de la machine relâchent et déplacent la clé du robinet quand l'écrou ne le retient pas ; il faut alors, pour le resserrer, arrêter le convoi.

61. Des cylindres et des pistons. — Le mécanicien introduit la vapeur alternativement de chaque côté des pistons, pour s'assurer que les couvercles des cylindres ne laissent pas échapper la vapeur par les joints. Pour s'assurer si les pistons ne laissent pas passer de vapeur entre eux et les parois du cylindre, il ouvre les robinets de graissage des cylindres et il met la vapeur au côté opposé du piston : s'il ne sort pas de vapeur par les robinets, c'est que le piston la retient ; il est alors en bon état. Il peut arriver qu'un piston, quelque bon qu'il soit, laisse passer de la vapeur entre lui et les parois du cylindre ; cela tient alors à ce que le cylindre est mal alésé ou a cessé, par l'usure, d'être cylindrique. Cela peut tenir aussi à ce que le couvercle du piston n'est pas suffisamment serré et que la vapeur qui s'introduit dans son intérieur passe par les joints des cercles sur le plateau. Cela peut tenir enfin à ce que les cercles ou les ressorts sont usés. Un cylindre peut travailler deux ans sans avoir besoin d'être alésé de nouveau.

Les cercles des pistons peuvent travailler une année. Leur durée dépend beaucoup du graissage régulier, du soin du mécanicien et aussi de la nature du métal. L'expérience a prouvé que les pistons à segmens de fonte font un meilleur usage que ceux en cuivre. Quand un piston crie dans son cylindre pendant la marche c'est que les ressorts en sont tendus inégalement, et que les segmens ne portent que d'un côté, tandis que de l'autre ce sont les plateaux du piston qui frottent contre les parois du cylindre. Il arrive aussi quelquefois que les vis qui servent à contenir les plateaux des pistons se desserrent, et viennent porter contre les couvercles des cylindres. Le bruit occasionné par ce choc est fort distinct ; il arrive alors que les couvercles sont brisés, ou plus souvent que ces vis rentrent dans leur taraudage qui se refoule. Ces deux accidens doivent être signalés aux ateliers. Ils exigent la rentrée immédiate de la machine pour démonter les couvercles des cylindres et remettre le piston en état.

Il faut s'assurer encore si les tiroirs ne laissent pas perdre de vapeur. A cet effet on ferme les deux lumières des cylindres du côté de l'avant de la machine, on ouvre le régulateur et les robinets de graissage. S'il sort de la vapeur par les robinets, c'est que les tiroirs ne ferment pas hermétiquement les deux lumières extrêmes. On vérifie les deux autres lumières de la même manière; mais comme il n'y a pas de robinet de graissage, on peut quelquefois reconnaître les fuites par la vapeur qui passe par les chapeaux du stuffing-box.

Enfin on vérifie si le tiroir couvre à-la-fois bien exactement les deux lumières, en mettant les manettes à leur demi-course et en ouvrant le régulateur et les robinets de graissage. Ces examens doivent être faits avec soin et intelligence; ils sont le meilleur moyen de reconnaître si l'usure des tiroirs n'a pas altéré leur superposition exacte sur la plate-forme des lumières.

62. Des tiroirs, des excentriques et du mouvement de la distribution. — Le premier soin est d'examiner s'il n'y a pas de jeu dans les excentriques ou dans leurs colliers : ce jeu s'aperçoit fa-

cilement en secouant à la main les barres auxquelles sont attachées les colliers d'excentrique. On vérifie si les arbres concentriques qui conduisent les leviers des tiroirs et les tringles des manettes jouent les uns dans les autres avec facilité; si les tocs prennent bien sur les excentriques; si les leviers des tiroirs ne jouent pas sur leurs arbres par suite du mattage des clés qui servent à les caler. Cette dernière vérification est de la plus grande importance. Le décalage de ces leviers retarde et restreint la course des tiroirs.

Il arrive assez fréquemment que les vis qui maintiennent les plaques d'acier sur le corps de l'excentrique viennent à se desserrer et que leurs têtes rencontrant alors le collier de toc empêchent le rapprochement nécessaire, de sorte que le toc ne prend plus bien. Ce vice rend souvent très difficile la manœuvre du changement de marche.

Le jeu des manettes doit être facile quand le régulateur est fermé. Quand il est difficile, cela tient soit à ce que le régulateur n'arrête pas complètement la vapeur, soit au grippement des tiroirs, au trop grand serrage des boîtes à étoupes, au grippement des arbres concentriques ou des charnières des tringles ou bien des colliers sur les roues excentriques qui les conduisent. Les tringles de conduite ne doivent pas ballotter.

Le mécanicien juge la bonne disposition des excentriques de la manière suivante : Il serre fortement le frein de la machine et ouvre le régulateur de manière à ce que la pression sur les pistons soit à-peu-près la même que pendant la marche. La machine prend une marche lente. Le mécanicien examine alors si la sortie de la vapeur des cylindres, qui s'indique par le bruit de l'expansion dans la cheminée, a lieu à la fin de la course du piston dans chaque sens. Pour bien s'en assurer, il doit ne distinguer qu'un seul bruit d'expansion dans les quatre bruits qui ont lieu successivement, en tenant les yeux sur la tige du piston ou sur les guides de cette tige pour saisir à-la-fois avec les yeux la fin de la course du piston et avec l'oreille le bruit de l'expansion.

L'expansion doit avoir lieu au moment où la course du piston s'achève, plutôt même avant la fin qu'à la fin. Quand elle a lieu

après, c'est que la distribution n'est pas bien réglée; il faut alors la modifier suivant les indications que nous donnons dans l'exposé spécial des principes suivant lesquels la distribution de vapeur doit être réglée.

Le mauvais réglement et les retards de la distribution tiennent à l'usure du toc, ou au déplacement des excentriques fixes, au jeu des excentriques ou des colliers, à la torsion des arbres concentriques qui sont souvent légers, par conséquent susceptibles d'élasticité, ou qui grippent les uns dans les autres; au jeu des leviers dans leur calage : l'usure du toc peut être momentanément rectifiée par l'interposition entre le toc et l'excentrique d'une petite cale en bois.

Ce mode n'est susceptible d'être employé que dans les machines de Bury; mais pour celles où le toc, au lieu de faire corps avec l'essieu, n'est fixé qu'à l'aide d'un collier et d'une vis de pression, il est plus commode et plus convenable de déplacer ce toc de la quantité nécessaire.

Lorsque l'expansion a lieu régulièrement à la fin de la course du piston, on doit supposer que l'introduction de vapeur est également régulière, si le tiroir et les lumières sont bien symétriques.

63. Des bielles et des tiges des pistons, de l'essieu coudé, des guides, des grandes traverses des roues et des essieux droits. — L'examen des bielles est un des plus essentiels. Pour déterminer si le serrage des clés d'attache de ces bielles est fait convenablement, il faut placer horizontalement du côté de la cheminée la manivelle de l'essieu coudé de la bielle qu'on veut vérifier; on met ensuite alternativement la vapeur de l'un et de l'autre côté du piston : ce mouvement ne peut faire marcher la machine, puisque la manivelle est poussée debout; mais comme il exerce alternativement une pression de chaque côté du piston, si celui-ci subit un léger mouvement il doit provenir du jeu qui a lieu dans les clés qui serrent les coussinets de la bielle sur l'axe coudé ou dans celle qui tient la douille de la tige du piston.

Comme il est très important que le serrage de ces clés ne soit ni trop fort ni trop lâche, le mécanicien met la vapeur sur le côté extérieur du piston, de manière à ce que la bielle se trouve comprise entre la tige du piston et l'essieu coudé; alors, après avoir desserré les vis de serrage de la clé, il frappe légèrement avec son marteau en cuivre sur cette clé, en examinant si elle ne serre pas sur les plats au lieu de porter seulement sur les champs; il resserre ensuite la vis de serrage et renfonce le coin d'écartement de l'extrémité de la clé: si le jeu est dans la clé de la douille qui tient la tige du piston, il proviendra de ce que cette clé s'est mattée, parcequ'elle ne remplissait pas exactement ses mortaises; il faudra alors la changer s'il en reste le temps, sinon la faire chauffer et la reforger légèrement. Aussitôt que les bielles sont bien assurées de la manière que nous venons d'expliquer, on met encore la vapeur alternativement de chaque côté du piston, pour juger si l'axe coudé ne joue pas dans ses boîtes à graisse, par suite de l'usure ou du mattage qu'elles ont subi: l'usure des boîtes à graisse élargit la partie dans laquelle tourne la fusée de l'essieu; le mattage a lieu sur les parois qui sont en contact avec les plaques de garde: on y remédie souvent en mettant de petites plaques en tôle dans le vide formé par le jeu qui, dans tous les cas, s'il dépasse deux millimètres, doit être signalé aux ateliers. On vérifie ensuite si les coussinets des grandes traverses ne laissent pas trop de jeu à l'essieu. Cet examen est de la plus grande importance; car si les coussinets ne soutiennent pas les mouvemens horizontaux de l'essieu, il éprouve une fatigue très dangereuse par les tractions et pressions multipliées par lesquelles il est sollicité. pour faire cette vérification le mécanicien descend dans la fosse et fait renverser rapidement la distribution par son chauffeur.

Quand il y a plus de un ou deux millimètres de jeu dans les coussinets, il faut remonter les coins pour les resserrer. Dans la machine de Chanter et Grays, il y a entre les boîtes à graisse et les plaques de garde un coin que l'on fait serrer à l'aide d'une vis de pression; c'est une amélioration utile.

Les guides des tiges des pistons doivent être ensuite examinés.

Si leurs tiges ou leurs coulisses sont rayées longitudinalement, si elles sont blanchies ou cuivrées, parceque l'huile ne peut s'y maintenir à cause de l'énergie du frottement, il faut en rechercher les causes : elles sont, soit dans la mauvaise pose de l'axe coudé qui n'est pas exactement perpendiculaire à la course du piston, soit dans l'usure des boîtes à graisse de cet axe, qui fait qu'il se jette alternativement hors de la perpendiculaire à la ligne de course, suivant que ses manivelles sont sollicitées contrairement par les deux pistons ; soit dans l'éhanchement du cadre provenant d'une chute de la machine, qui fait que les grandes traverses reliant la boîte à feu et la boîte à fumée ne sont plus parallèles à la ligne de course des pistons, soit dans le jeu des clés, des coquilles des tiges des pistons, surtout quand ces coquilles sont à deux assemblages, comme dans les machines de Bury et de Tayleur. Celles de ces causes qui ne peuvent être corrigées par le mécanicien, doivent être signalées aux ateliers.

Les boulons des boîtes à coulisses des guides, employées dans les machines de Bury, doivent être soigneusement serrés ; et quand l'usure a trop agrandi le passage des guides, il faut réclamer la réparation ou le changement des boîtes.

La plaque de dessus des coulisses des machines de Tayleur doit être également serrée par ses écrous, afin que le jeu de la tige du piston soit droit et ne fatigue pas le couvercle de la boîte à étoupes du cylindre.

Il faut mesurer quelquefois, avec le calibre qui est à la station, si l'écartement des roues s'est bien conservé ; s'il est altéré, il faut examiner si cela tient au déplacement des clés de calage des roues sur les essieux. Le travail des machines sur les chemins de fer a pour effet de resserrer l'écartement des roues ; et comme les essieux de beaucoup de machines ne portent pas d'épaulement, que d'un autre côté on a la fâcheuse habitude de placer des clés légèrement coniques pour caler les roues sur les essieux et qu'elles sont alors disposées à sortir, il en résulte qu'elles ne s'opposent plus, au bout d'un certain temps, au jeu des roues dans les essieux, et leur voie se resserre alors progressivement.

Un défaut d'exactitude dans la voie des roues doit être signalé aux ateliers.

En mettant sa machine en marche, le mécanicien jette un coup-d'œil sur chacune des grandes et petites roues pour voir si elles tournent droit.

S'il aperçoit du gauche dans leur mouvement de rotation, il doit d'abord s'assurer s'il ne tient pas à ce que les clés de calage se sont desserrées ou bien à ce que les jantes des roues se sont aplaties par le travail, ce qui arrive quand le fer est trop doux: si les roues sont à leur place, le gauche du mouvement de rotation tient au montage; il faut le signaler aux ateliers. Cet examen est essentiel: car il arrive souvent que c'est au gauche dans la position des roues sur les axes, que tiennent les déviations, souvent très fréquentes et très énergiques, que subit l'avant des machines, lorsque leur marche devient très rapide; ces déviations peuvent aussi tenir à un trop grand jeu des essieux dans le sens de leur axe, provenant de l'usure des boîtes à graisse.

Quant aux essieux droits, il faut de temps en temps en examiner les collets au point du calage des roues; c'est ordinairement en cet endroit qu'a lieu leur rupture.

Les supports de la chaudière sur le châssis, qui ont à résister aux pressions et tractions exercées par les pistons sur l'axe coudé, et transmises par lui au châssis, prennent quelquefois du jeu dans leur assemblage; il faut le signaler aux ateliers.

64. Des robinets du tender, des pompes et de leur travail. — On doit vérifier la manière dont ferment les robinets d'introduction d'eau dans les pompes, afin de savoir s'ils n'en laissent pas aller pendant la marche une quantité notable; pour s'en assurer il suffit de dévisser un raccord en fermant les robinets du tender.

Le jeu des pompes doit être vérifié avec soin; il ne faut pas se mettre en marche sans être assuré que l'une au moins des deux pompes fonctionne assez bien pour assurer l'alimentation de la machine. Lorsque le travail des pompes ne se fait pas convenablement, cela peut provenir de l'introduction de morceaux de coke

dans la prise d'eau du tender; il faut alors démonter le corps de pompe qui contient le clapet et en enlever ce qui en empêche le jeu ou l'introduction de l'eau. Cela provient plus souvent du mauvais travail des clapets d'aspiration ou de refoulement qui s'attachent dans leur corps de conduite par l'effet du mattage, de la dilatation, ou de l'introduction de quelque matière de petit volume entre les clapets et leur corps de conduite. Dans ces différens cas, il faut tâcher de décider le clapet d'introduction de l'eau à se détacher; pour cela on serre le stuffing-box du piston de la pompe, de manière à faire le vide dans le corps de pompe; on met dans le tender sa charge complète d'eau, et on fait mouvoir la machine avec rapidité en ouvrant le robinet d'alimentation : si la pompe ne prend pas, il faut ouvrir subitement le robinet d'essai; il est bon de bien comprendre alors ce qui se passe : quand les clapets de refoulement de l'eau dans la chaudière ne ferment pas bien, la pression de la vapeur dans le corps de pompe agit contre le clapet d'aspiration d'eau; il faut alors employer les moyens de diminuer cette pression pour détacher ce clapet : on commence donc par faire le vide dans le corps de pompe, en serrant le stuffing-box du piston; mais cela ne suffit pas, parceque la pression de la vapeur est plus forte que celle de l'atmosphère : cependant le vide qui tend à se former dans le corps de pompe sollicite les clapets de refoulement à se serrer davantage, et y diminue ainsi l'introduction de vapeur; si on ouvre alors le robinet d'essai, la vapeur fournie par le clapet se dégage, et la tendance au vide produite par l'aspiration du piston, ainsi que la charge d'eau du tender, se combinent alors pour détacher le clapet d'aspiration.

Depuis que l'on a augmenté la dimension des foyers et des chaudières on a aussi augmenté le diamètre des pompes, de telle sorte que, lorsque la machine fonctionne à une grande vitesse, ces clapets éprouvent des chocs très violens, qui ont pour résultat de crever les tuyaux du corps de pompe. Pour amortir ces chocs, il est bon de laisser le robinet d'essai des pompes ouvert pendant leur travail.

65. De l'indicateur d'eau et des robinets indicateurs. — L'indicateur d'eau doit être tenu propre : on le nettoie soit en le démontant, soit, quand la chaudière est remplie d'eau au-delà du niveau de l'indicateur, en ouvrant les robinets de manière à faire passer de l'eau par le tube ; comme cette eau passe avec vitesse et à une forte pression, elle suffit souvent pour nettoyer le verre.

On s'assure que les robinets de mise en communication avec la chaudière, aux deux extrémités du tube, fonctionnent bien.

A côté du tube indicateur d'eau, le mécanicien doit reconnaître et pointer le niveau du dessus de la boîte à feu, le niveau du dessus des tubes, et le niveau auquel il doit maintenir l'eau dans la chaudière.

Au départ, le niveau de l'eau doit être au moins de deux pouces au-dessus de la boîte à feu.

66. De la pose de la machine sur ses essieux. — Cette partie des soins qu'un mécanicien doit avoir de sa machine est une des plus délicates; elle exige l'attention la plus soutenue et beaucoup de réflexion; ce n'est d'ailleurs qu'après plusieurs jours de travail qu'un mécanicien peut prendre sur lui de modifier la tension des ressorts qui chargent les essieux, en reportant plus ou moins sur eux la pression du poids de sa machine.

Une machine est douce ou dure, suivant que son poids est bien ou mal réparti sur ses essieux ; les machines à quatre roues, dont les ressorts ont une grande différence d'élasticité, galopent fortement; mais il n'y a lieu de les modifier qu'en changeant les ressorts, tandis que dans les machines à six roues on peut facilement, par le raccourcissement des menottes qui tiennent les ressorts, reporter plus ou moins de poids sur les roues travailleuses. Les machines à six roues dont le poids est mal réparti sur leurs essieux basculent, s'enlèvent en arrière, ou bien manquent de stabilité sur l'avant; dans ce cas, elles subissent non-seulement des variations sur leur mouvement horizontal, mais aussi des déviations latérales analogues à celles qui résultent du gauche dans le montage des roues sur leurs essieux.

On reconnait facilement la mauvaise répartition du poids des roues sur les essieux, en examinant le mouvement vertical des boîtes à huile dans les plaques de garde quand la machine vient de travailler, ce mouvement est indiqué par la marque du frottement sur ces plaques : lorsque les ressorts sont trop peu chargés, le mouvement vertical est plus considérable; il y a lieu alors de raccourcir les menottes de ces ressorts pour reporter plus de poids sur leurs essieux : la bonne répartition du poids sur les essieux se reconnaît à la douceur de la machine, et au défaut de bruit et de secousse au passage des joints d'about des rails.

Les causes des oscillations des machines sur les chemins de fer sont de plusieurs natures. La première de toutes est le mauvais état de la voie, la différence de diamètre des roues et l'influence de la charge qu'elles portent, enfin les différences d'élasticité des ressorts.

Le mauvais état de la voie ne dépend pas du conducteur, mais il doit modérer la vitesse dans les parties mauvaises, pour ne pas faire subir à la machine des oscillations trop fortes. Les différences de tassement ont principalement lieu dans les remblais et à l'abord des ponts ou autres travaux d'art.

L'influence de la répartition de la charge sur des roues de différent diamètre est facile à comprendre. Le poids des machines de douze tonnes doit être réparti ordinairement, savoir :

Sur les roues de devant.	4 tonnes,	50
Sur celles du milieu ou roues motrices. .	5	50
Sur celles de derrière.	2	
Total. . . .	12 tonnes.	

Or la charge des roues de devant étant presque égale à celles du milieu, toutes les fois, et c'est le cas le plus ordinaire, que le diamètre des roues de devant est plus petit que celui des roues travailleuses; comme à poids égal elles sollicitent le rail par une surface de superposition moindre que les roues du milieu, comme aussi la résistance du chemin est moindre aux joints des rails que dans le cours du rail, il en résulte qu'en ce point

la machine plonge davantage dans le chemin sur l'avant, ou plutôt que les ressorts des roues de devant supportent une oscillation plus forte que ceux des roues du milieu.

On voit d'après cela qu'il est nécessaire que le poids placé sur les roues de devant soit moindre que celui qui presse sur les roues du milieu. C'est en tendant les ressorts des essieux de derrière que l'on peut diminuer la charge que portent les roues du milieu, et cette diminution ne doit avoir lieu que sur l'autorisation de l'ingénieur, parce que l'adhérence d'une machine se mesurant au poids que les roues motrices supportent, et cette adhérence variant suivant l'état de l'atmosphère du septième au quinzième de ce poids, il pourrait résulter de la trop grande diminution du poids sur les roues travailleuses que par les temps de pluie, par exemple, elles glisseraient sur les rails.

Une machine est douce lorsqu'en ne conservant sur les roues motrices que le poids et par conséquent le degré d'adhérence suffisant pour remorquer sa charge habituelle, on répartit le reste du poids sur les quatre autres roues en le proportionnant à l'angle sous lequel elles sollicitent le chemin; alors l'influence de toutes les roues de la machine étant égale, les oscillations ne prennent d'intensité que celle qui résulte des différences de résistance de la voie. Sans doute cette perfection est difficile à atteindre, mais il faut la rechercher.

67. Du régulateur. Le mécanicien doit connaître la forme du régulateur de distribution de vapeur, afin de savoir quel est le degré d'ouverture résultant du mouvement de levier qui sert à le faire mouvoir. Il faut surtout avoir soin de graisser les régulateurs dont la forme ressemble à un robinet, c'est-à-dire dans lesquels des surfaces circulaires et coniques sont mises en frottement; ils exigent plus de soins que les régulateurs où des surfaces planes sont superposées, parcequ'ils sont plus sujets à gripper.

Les régulateurs des machines de Bury sont sujets à se fermer naturellement à un petit degré d'ouverture, par suite de l'usure de l'hélice conduisant le régulateur; cet inconvénient oblige le

mécanicien à attacher le levier à l'indicateur ou à le tenir lui-même constamment.

Quand le régulateur présente une grande résistance, cela tient à ce que les surfaces ont pris beaucoup d'adhérence par l'effet du serrage provenant de la dilatation inégale des pièces qui le composent et par l'absence de corps gras entre elles ; dans ce cas, il faut bien se garder de frapper à coups de marteau sur le régulateur, ou de forcer sur le levier au-delà de la résistance qu'il peut offrir en lui-même ; il vaut mieux dans cette circonstance laisser refroidir la machine, que de courir le risque de briser le régulateur. Quand les pièces sont froides, elles jouent plus facilement, on rode alors les surfaces en y interposant des corps gras.

En général il faut manœuvrer le régulateur avec délicatesse, sans secousses, et n'en jamais exiger un mouvement rapide ; autrement les leviers ou les cocardes se décalent sur leurs axes, leurs tiges se tordent, et dans ces deux cas le levier n'indique plus exactement la position du régulateur et son degré d'ouverture.

Quand un régulateur fermé laisse passer de la vapeur, il faut signaler ce défaut aux ateliers ; et quand la machine est en station, il faut avoir grand soin de désembrayer les barres d'excentrique de la distribution, de fermer les lumières des cylindres, et d'abaisser fortement le levier du frein du tender en le fixant au moyen de la cheville. Sans ces précautions, la machine laissée à elle-même pourrait se mouvoir et occasionner des accidens.

68. Arrangement des excentriques ou de la distribution pour la marche en avant ou en arrière. Marche à la main à l'aide des manettes.

Il importe au plus haut degré aux mécaniciens de connaître à fond ces deux opérations ; il faut les bien comprendre pour les exécuter sans hésitation, sans tâtonnement, pour ne pas perdre la tête au moment où il faut déterminer un mouvement rapide.

Nous décrirons d'abord pour chaque machine la disposition

à donner à la distribution pour la marche en avant ou en arrière.

Dans les machines de Bury, de Tayleur et de Jackson, il n'y a que deux excentriques qui jouent sur l'axe coudé et peuvent être conduits par les manettes. Quand on veut changer la distribution sans que la machine bouge, on fait tourner au moyen des manettes les excentriques sur leur axe; il ne s'agit pour cela que d'imprimer aux manettes un mouvement opposé à celui de la marche qu'elles avaient en s'arrêtant, mais toujours en croisant leur mouvement, afin que chaque course des deux manettes fasse faire une demi-révolution à l'excentrique. Ce mouvement peut se faire dans les machines de Bury, sans déranger latéralement les excentriques, parceque les tocs qui conduisent les excentriques sont, dans ces machines, posés sur l'essieu coudé; et comme ils ne conduisent les excentriques que dans ce sens, ceux-ci ne trouvent pas de résistance à se mouvoir dans le sens opposé au toc. Mais dans les machines de Jackson et de Tayleur, comme le toc d'excentrique fait partie d'un collier fixé sur l'essieu et entre dans une ouverture pratiquée à cet effet dans l'excentrique, il en résulte que dans les deux sens l'excentrique est prisonnier. Dans ces dernières machines, il faut donc, pour changer la marche, commencer par repousser l'excentrique d'un collier sur l'autre, en pressant sur le levier de changement, et faire faire, à l'aide des manettes, à ces excentriques, et sans cesser de presser le levier de changement, la demi-révolution nécessaire pour que le toc entre dans leur ouverture.

Il arrive souvent que lorsque l'on veut changer la distribution d'une machine à deux manettes, la manette que l'on sollicite résiste et l'on ne peut la faire mouvoir; cela dépend uniquement de sa position : en effet, quand une manette est à la fin de sa course, l'excentrique est horizontal; il ne faut donc pas essayer de la faire mouvoir, l'effort ne sollicitant pas l'excentrique dans le sens de la rotation, le pousse ou le tire, et dans les deux sens il résiste et l'on ne peut modifier sa position; c'est l'autre manette qu'il faut alors faire mouvoir, parceque si l'excentrique de

la précédente est horizontal, celui de la seconde doit être vertical ; alors, en tirant ou poussant la manette de cet excentrique, on imprime un mouvement de rotation à l'autre excentrique, qui fait un angle aigu avec l'horizon; alors de l'autre main on aide la seconde manette à suivre la première, l'on fait faire ainsi aux excentriques une demi-révolution qui place les manettes dans le sens contraire à leur première position, et on les amène au point où le toc qui doit les conduire s'introduit dans l'ouverture pratiquée pour le recevoir.

Dans les machines de Tayleur la marche en avant est celle de prise des excentriques, quand le levier de changement est à droite; la marche en arrière, quand il est à gauche. Dans les machines de Jackson, quand le levier à pied est levé, la marche est en avant; quand il est abaissé sous le mentonnet, elle est en arrière. Dans les machines de Bury la marche en avant est déterminée par l'appui du toc tourné sur l'axe dans le sens de la marche des roues en avant; il est en arrière par l'appui du toc opposé, tourné dans le sens de la marche des roues en arrière.

Dans cette description que nous venons de donner de la mise en état de marche en avant ou en arrière de la distribution, nous n'avons indiqué que la marche des excentriques restant liés aux manettes, et nous n'avons pas parlé du jeu des tiroirs par rapport au mouvement des manettes et au travail du piston, parceque les mécaniciens ne s'en préoccupent jamais dans cette opération.

Dans la marche à la main, il importe, au contraire, que le mécanicien sache bien couramment quel est l'effet de chacune des manettes par rapport au mouvement des tiroirs, c'est-à-dire de quel côté du piston elle met la vapeur. Bien que quelques mécaniciens ne sentent pas la nécessité de se bien mettre au courant de la distribution sous ce rapport, et qu'ils ne se guident dans le mouvement des manettes que sur la position des manivelles de l'axe coudé, toujours est-il qu'ils auraient beaucoup plus d'aplomb et de confiance dans leur manœuvre à la main s'ils

connaissaient la transmission du mouvement des manettes aux tiroirs au lieu de tâtonner si souvent pour connaître la corrélation du mouvement des manettes avec l'allure des manivelles; plusieurs cas démontrent ce que nous disons ici: en effet, quand, en faisant marcher une machine à la main, elle prend une vitesse telle que l'on ne peut suivre ses révolutions et que l'on brouille la distribution et par conséquent les allures, le moyen de retrouver rapidement la marche de la distribution est de connaître le mouvement que les manettes impriment aux tiroirs.

Dans une autre circonstance, lorsque le mécanicien est placé sous la machine pour rajuster quelques pièces et qu'il a besoin de faire faire un mouvement à la machine, il faut qu'il puisse indiquer à son chauffeur la manette qu'il doit faire mouvoir, sans être obligé de le faire tâtonner. Dans le passage d'une plate-forme tournante, lorsque les deux cales ont été enlevées à-la-fois par la négligence du chauffeur, le tâtonnement peut faire reculer la machine et la faire sortir de la plaque.

Tout mécanicien qui ne se guide que sur le mouvement corrélatif des manettes et des manivelles est exposé à des désagrémens de ce genre; il lui faut une étude de routine pour chaque machine, et la moindre différence dans la transmission de mouvement des manettes aux tiroirs est pour lui une difficulté; il faut donc, pour les éviter, qu'il commence par bien comprendre la corrélation qui existe entre le mouvement des manettes et celui des tiroirs. Cette corrélation, que nous avons expliquée dans la description détaillée, est directe, c'est-à-dire que les manettes communiquent aux tiroirs un mouvement d'une direction identique à celui qu'on leur fait subir; le tiroir le communique au piston, le piston à la manivelle. Ainsi une manette poussée sur l'avant fait faire au tiroir, au piston, à la manivelle, un mouvement sur l'avant. Si, dans ce cas, les manivelles sont au-dessus de l'horizon, la machine marchera en avant. Ce raisonnement ne peut s'appliquer aux machines de Bury : dans ces machines la corrélation entre les manettes et les tiroirs est inverse; de plus, la communication est croisée : c'est-à-dire que la manette

de droite répond au tiroir de gauche, et réciproquement.

Cela connu, le mécanicien qui veut faire marcher une machine à la main, s'il veut se porter en avant doit commencer par déterminer le mouvement des roues dans ce sens, mettre la vapeur dans le cylindre du côté de la tige du piston quand les manivelles de l'axe coudé sont au-dessus de l'horizon; derrière le piston du côté opposé à la tige quand elles sont au-dessous de l'horizon. Pour mettre la vapeur à coup sûr de cette manière, on voit qu'il faut, comme nous venons de le dire, que le mécanicien sache à quel mouvement du tiroir se rapporte tel mouvement d'une manette, car cela dépend, dans chaque machine, des leviers directs ou des axes concentriques de la transmission du mouvement de la distribution.

Il y a peu de temps que l'on commence à remplacer l'usage de deux manettes dans les machines par un seul levier qui embraye la distribution pour la marche en avant et en arrière.

Nous avons décrit la disposition de la distribution dans chacun de ces cas. Les machines à deux manettes ont sur les autres l'avantage qu'en cas de perte d'un boulon d'excentrique ou de rupture de la barre d'embrayage, on peut conduire à la main celui des tiroirs que la barre d'excentrique ne mène plus. Elles ont l'inconvénient d'être d'une manœuvre plus difficile pour le passage sur les plates-formes, le changement de mouvement y est aussi moins rapide que dans les machines à un seul levier.

Il est indispensable de savoir conduire à la main les machines à deux manettes; outre le cas d'accident, le passage sur les plates-formes ne peut se faire avec sûreté qu'en désembrayant les excentriques et en marchant à la main.

La marche à la main des machines à deux manettes est facile à expliquer quand on est en vue des pièces qu'il faut conduire; mais, comme, lorsque le mécanicien est sur sa machine, le jeu des pièces qu'il a à faire mouvoir est hors de sa vue, il importe qu'il se pénètre bien alors des principes sur lesquels elle repose : nous les indiquerons ici.

Quand les manivelles sont suivies d'équerre par leurs excen-

triques sur l'axe coudé, le mouvement qu'elles font opérer à la barre d'excentrique, est dans la première partie de la course, inverse de celui qu'opère la tige du piston.

Mais, comme il faut que le mouvement du tiroir soit dans le même sens que celui de la tige du piston, afin de découvrir la lumière d'extrémité pour l'introduction de la vapeur, on a disposé un levier intermédiaire qui communique au tiroir un mouvement inverse de celui de la barre d'excentrique.

Ces leviers intermédiaires, conduits par les barres d'excentrique à leur extrémité inférieure et liés à la tige des tiroirs à leur extrémité supérieure, sont aussi mis en mouvement par les manettes auxquelles ils sont liés. Ils sont montés sur des axes fixes et concentriques pour chaque cylindre qui permettent d'opérer isolément les mouvemens des tiroirs. Les barres d'excentrique pouvant être désembrayées, la machine se conduit alors à la main

Ainsi que nous l'avons vu dans l'exposé de la distribution de vapeur, la marche des tiroirs doit toujours être, à l'origine de la course, dans le même sens que la marche du piston. Or, les manettes étant liées directement aux axes intermédiaires sur lesquels sont montés les leviers moteurs des tiroirs, le mouvement des manettes est le même que celui des tiroirs : donc le mouvement des manettes est le même que celui qui est imprimé aux pistons.

Il ne s'agit donc plus pour le mécanicien que de reconnaître la relation de mouvement entre chaque manette et son tiroir, ce qui dépend de la disposition des leviers concentriques de transmission du mouvement; et un coup-d'œil suffit pour cela.

Il faut ensuite qu'il examine la disposition des manivelles sur l'axe coudé. Ces manivelles étant d'équerre sur cet axe, dans la marche en avant l'une précédera l'autre; et celle-ci, dans la marche en arrière, marchera la première. Les manettes auront un mouvement analogue; il suffira donc au mécanicien de voir quelle est celle des deux manettes qui précède l'autre dans la marche en avant pour en déduire la position et le mouvement des manivelles, des tiroirs et des pistons, puisque le mouvement

des manettes, des tiges des tiroirs, des tiges du piston et des manivelles de l'axe coudé est le même, c'est-à-dire a lieu dans le même sens.

Même observation que ci-dessus pour les machines de Bury.

On voit, d'après la corrélation qui existe entre les manettes, les tiroirs, les pistons et les manivelles, qu'un seul coup-d'œil suffit pour se rendre compte de la marche à la main. Si la machine est en mouvement, un regard sur les manettes indique leur mouvement relatif, et l'on en déduira le mouvement de toutes les pièces. Ainsi, dans les machines de Tayleur, la manette de droite conduisant le tiroir du cylindre de droite, et la gauche le tiroir du cylindre de gauche; si dans la marche en avant la manette droite précède la gauche, on en déduira que lorsque la manette droite est penchée sur l'avant, le tiroir du cylindre de droite a marché en avant, que le piston marche également en avant, que la manivelle droite précède la gauche et qu'elle accomplit, pour marcher en avant, la demi-révolution dans laquelle elle traverse la verticale au-dessus de l'horizon.

Cette explication, quelque courte qu'elle soit, suffit pour faire comprendre la marche à la main des machines à deux manettes; et il ne faut pas s'étonner alors qu'un grand nombre de mécaniciens en connaissent la routine sans se rendre compte des principes sur lesquels elle repose.

Dans l'application, il arrive très souvent que les mécaniciens, même les plus habitués à la routine de la marche à la main, tâtonnent encore; ceux qui manquent d'habitude perdent la tête. Pour éviter ces inconvéniens, les mécaniciens devront suivre les prescriptions suivantes.

69. Passage sur les plates-formes et sur les croisemens de voie. — En arrivant à la station, lorsque le train est arrêté, que la machine est décrochée du train et qu'il faut la passer sur la plate-forme, le mécanicien donne un peu de vapeur pour approcher la machine sans lui donner de vitesse; dans ce court espace, il examine la marche des manettes et s'assure de celle qui précède l'autre; il ar-

rête ensuite la machine sur la plate-forme, à l'aide du frein, en fermant d'abord le régulateur, et le chauffeur place les cales sous les roues : ces cales peuvent être placées de chaque côté de la grande roue, ou à l'opposé l'une de l'autre devant la grande roue, et derrière la petite roue de devant. Dans tous les cas, il faut éviter de caler avec précipitation. La machine lancée monte sur la cale, et on court risque de soulever la roue entre les cales lorsqu'on n'attend pas, pour caler du côté opposé, qu'elle en soit descendue.

La machine calée, le mécanicien délie la distribution, la plate-forme est tournée, et le chauffeur commence par ôter la cale d'avant. Si elle est serrée, le mécanicien renverse la manette qui est en avant et donne un peu de vapeur; la machine recule légèrement en montant sur la cale d'arrière; la cale d'avant retirée, le mécanicien remet la manette sur sa marche, la machine avance, mais le mouvement qu'elle accomplit est variable par la cause que nous allons expliquer.

Quatre mouvemens des manettes sont nécessaires pour faire faire aux roues des machines une révolution, c'est-à-dire une avance de cinq mètres environ : deux mouvemens de manettes font donc avancer la machine d'une demi-révolution, c'est-à-dire de 2 m. 50; mais cette dernière révolution se fait pour chaque manette en deux fractions inégales, l'une de 65 à 75 centimètres environ, l'autre de 1 m. 85 à 1 m. 75.

Cette inégalité tient à ce que les deux manivelles étant d'équerre, lorsqu'elles sont l'une au-dessus, l'autre au-dessous de l'horizon, le changement d'une manette fera prendre à la machine la plus faible avance; mais lorsque les deux manettes seront ensemble au-dessus ou au-dessous de l'horizon, la machine recevra du mouvement d'une manette la marche la plus forte. Cela se comprend facilement : dans le premier cas, l'angle sous lequel se trouvent les manivelles ne permet pas à la vapeur de donner à la machine une forte impulsion; dans l'autre, au contraire, les manivelles sont sollicitées à-la-fois et sous l'angle le plus favorable.

Il résulte de là que le mécanicien ne doit éprouver aucune crainte de la vitesse qu'il voit prendre à sa machine : quand il a fait mou-

voir une manette, s'il a devant lui un espace de plus de 1 m. 80 il peut la laisser aller; mais soit qu'elle prenne l'avance la plus forte ou la plus faible, il faut qu'il attende, pour mouvoir l'autre manette, que la machine soit arrêtée: s'il se hâte de faire suivre la première manette qu'il a tirée ou poussée par la seconde, l'accélération de mouvement que subit la machine lui fait dépasser le point où elle s'arrêterait; alors la distribution ne se trouve plus en harmonie avec les mouvemens des pistons, et le mécanicien peu habitué, ne se donnant pas le temps d'examiner les nouvelles relations dans lesquelles elles se trouvent, tâtonne et s'embrouille dans le jeu des manettes. Afin d'empêcher le mouvement d'accélération, il faut saisir le moment où la machine ayant obéi à l'impulsion que le mouvement d'une manette lui a fait subir, s'arrête et est prête à revenir sur elle-même; il faut avoir le soin de tenir le régulateur légèrement ouvert afin que la machine éprouve, par la vapeur dans les cylindres, de la résistance à prolonger sa marche jusqu'à ce que le jeu de la manette suivante ait produit l'échappement de cette vapeur et son introduction par le côté opposé.

Lorsque la machine arrive sur la seconde plate-forme, le mécanicien ne doit pas compter sur les cales pour l'arrêter. Comme le jeu d'une seule manette à-la-fois donne le mouvement à la machine, il en résulte qu'en poussant ou tirant cette manette, il arrête la machine précipitamment au point qu'il veut. Ces mouvemens doivent être faits avec délicatesse; sur la plate-forme, plus encore qu'avant d'y arriver, il faut éviter le mouvement brusque des machines : il faut aussi avoir le soin de poser les machines sur les plate-formes de manière que le poids soit autant que possible également réparti des deux côtés; sans cela la plate-forme donne lieu en tournant à des frottemens inégaux très énergiques. Une fois la machine arrêtée ou n'éprouvant qu'un mouvement très lent, elle est calée par le chauffeur, la plate-forme est tournée de nouveau, et la machine est mise en marche de la même manière que ci-dessus.

Elle est arrêtée à quelques pas de la plate-forme. Pour l'arrêt, le mécanicien ferme le régulateur et fait échapper, par un mouve-

ment rapide des manettes, la vapeur qui reste dans les conduits et les cylindres. Si le régulateur laisse passer la vapeur, on dispose les manettes de manière à mettre la vapeur dans un sens opposé sur les deux pistons; on met ensuite les manettes à leur fin de course exactement, afin que les tiroirs couvrent chacun les deux lumières d'introduction de vapeur. La machine reste alors forcément en place. Ces mouvemens sont simples et rapides quand un mécanicien se rend compte subtilement de la corrélation du mouvement des manettes avec la position des tiroirs; ils s'obtiennent par le tâtonnement lorsqu'il ne se donne pas la peine d'examiner cette corrélation, ou que son intelligence ne va pas jusque-là.

Dans la description que nous venons de donner de la marche à la main pour le passage des plates-formes, nous avons supposé que, d'un bout à l'autre, le mécanicien sachant d'avance laquelle des deux manettes précède l'autre, n'a point brouillé la distribution pendant que la machine était arrétée par les cales. Mais il peut se faire qu'un mécanicien oublie d'observer cette marche, et qu'arrivé sur la plate-forme il délie la distribution, et qu'il ignore quelle manette il faut mouvoir pour porter la machine en avant. Dans ce cas, sa tâche est également facile. La machine, étant décalée sur l'avant, reste calée sur l'arrière, elle ne peut donc procéder qu'en avant; alors le mécanicien, jetant un coup-d'œil sur la manivelle qu'il voit, place la manette de cette manivelle pour la marche en avant. Si la machine ne marche pas, c'est que l'autre piston forme obstacle; le mécanicien fait alors suivre l'autre manette sans déranger la première de la position où il l'a mise. La machine procède alors; mais pour lui faire continuer sa marche, le mécanicien ne sait pas encore s'il doit faire revenir la première manette qu'il a touchée ou la seconde.

Il fait donc encore ce mouvement par voie de tâtonnement en faisant mouvoir une des deux manettes et en la replaçant immédiatement, et renversant l'autre s'il voit que la machine obéit à un mouvement inverse de celui qu'il veut lui donner.

On voit que, soit par la connaissance des principes, soit par

simple routine, la marche à la main des machines est bien facile à saisir; ce qui manque généralement plus que tout le reste aux hommes novices, c'est le calme nécessaire pour retenir les simples notions qui viennent d'être données ici.

La marche à la main sur la voie se déduit des principes précédens; seulement, comme dans ce cas, loin de chercher à donner à la machine un mouvement lent, on veut prendre une marche accélérée, l'adresse du mécanicien consiste uniquement à mouvoir ses manettes aussi rapidement que l'essieu coudé, et à n'en bouger une que quand sa manivelle, qu'il tient en vue, fait une demi-révolution. Quand il est en retard de son mouvement, la distribution est brouillée, et l'on s'en aperçoit aussitôt par les chocs que reçoit le boulon d'attache du tender et de la machine, quand les pistons se trouvent tantôt sous la pression qui les fait mouvoir en avant, tantôt sous la pression contraire. Ces chocs sont d'autant plus nuisibles, que, dans un grand nombre de machines, l'attache de ce boulon avec la machine est faite au moyen de cornières reliées à la boîte à feu, et que l'ébranlement de la cornière, causé par les chocs, occasionne des fuites. Aussi la marche à la main devrait-elle être interdite toutes les fois qu'elle est absolument inutile : trop souvent les mécaniciens n font un jeu.

C'est ici le lieu de revenir sur les précautions à prendre pour la mise en disposition de marche des machines à deux manettes. Pour celles de Tayleur et de Jackson, il suffit de pousser le levier de conduite des excentriques et de faire mouvoir les manettes, comme nous l'avons expliqué pour faire faire aux excentriques la révolution qui les fait entrer dans le toc du collier fixe. Mais dans la machine de Bury on ne fait pas usage du levier de conduite des excentriques, parcequ'il n'y a pas de collier fixe portant le toc, et que le toc monté sur l'essieu n'entre pas dans les excentriques, mais s'appuie seulement contre eux. On ne peut donc voir si une machine de Bury est dans sa disposition de marche qu'en examinant la relation de position des tiges des tiroirs avec le mouvement du piston, et la plupart du temps les mécaniciens ne s'en

donnent pas la peine. Si au moment du départ, en introduisant la vapeur, la machine recule, il faut alors aussitôt fermer le régulateur et renverser le mouvement des manettes, de manière à faire faire aux excentriques et aux tiroirs une demi révolution. Pour cela il faut pousser ou tirer celle des manettes qui n'est pas à la fin de sa course, parce qu'ainsi que nous l'avons expliqué une manette à la fin de sa course indique que l'excentrique qui la conduit est horizontal; alors on ne peut la faire mouvoir, parceque l'excentrique n'est pas sollicité, en la tirant ou en la poussant, suivant le sens de la rotation.

La marche à la main et le passage sur la plate-forme des machines à un seul levier est de la plus grande facilité. Le mécanicien doit donner peu de vapeur et tenir la distribution déliée en plaçant le levier au milieu de sa marche d'embrayage; il le penche légèrement en avant ou en arrière, suivant qu'il veut faire marcher sa machine dans les deux directions: mais il a grand soin de ne pas laisser prendre de vitesse à sa machine sur la plate-forme; à cet effet, il exerce avec promptitude sur son levier le mouvement à l'aide duquel on supprime la vapeur et la rend à volonté.

Le mécanicien doit toujours, lors du passage des machines sur les plates-formes, avoir les yeux sur la petite roue placée sous lui, et il doit connaître le point où il doit l'arrêter, pour que la machine puisse tourner sans dépasser les rails de la plate-forme.

Il importe aussi de bien connaître l'effet produit par les machines aux passages dans les croisemens de voie. Les croisemens ne sont autre chose que des courbes de très petit rayon. Quand une machine à six roues entre dans un croisement, les saillies des deux roues de devant vont heurter contre la partie du rail qui forme l'angle avec la ligne d'où sort la machine, et le choc qu'elles reçoivent tend à faire pivoter la machine sur les grandes roues pour ramener les petites roues d'arrière dans la nouvelle direction. Ce jeu de pivot a lieu soit sur la voie, quand on a eu la précaution, dans la pose, de mettre les rails de croisement suivant une courbe de manière à le favoriser, ou d'augmenter la largeur de la voie dans cet endroit; soit par le jeu latéral que les essieux

gagnent dans les boîtes à graisse : mais il ne faut pas compter sur ce dernier moyen, car le jeu latéral, dans les boîtes à graisse, est nuisible et doit être évité. Les machines à quatre roues passent plus facilement dans les croisemens : les explications que nous avons déjà données suffisent pour le faire comprendre.

70. Mise de la machine en tête du convoi. — Dix minutes avant le départ, le mécanicien doit placer sa machine en tête du train; à cet effet, il ouvre les robinets de décharge de l'eau condensée dans les cylindres, appelle ses chauffeurs, et regarde autour de lui s'il peut faire mouvoir sa machine sans danger pour eux dans le cas où ils seraient occupés à la nettoyer.

Il place un de ses chauffeurs près du frein et se place lui-même entre le régulateur et les manettes; il s'assure d'un regard si la voie est libre devant lui, signale son départ à l'aiguilleur par un coup de sifflet ondulé, embraye la distribution et la dispose pour la marche en avant, fait lever le frein par le chauffeur et ouvre légèrement le régulateur. Il a constamment les yeux sur sa ligne et la main au sifflet qu'il manœuvre jusqu'à ce que l'aiguilleur lui ait fait signe qu'il peut passer; il prend alors plus de vitesse s'il ne voit rien devant lui qui fasse obstacle à sa marche, en ayant soin que le chauffeur ne quitte pas le frein; il essaie le jeu de ses deux pompes et modère ensuite sa marche pour passer très lentement sur l'aiguille.

Quand il a dépassé l'aiguille, il arrête sa machine au moyen du frein et change la distribution. Pour les machines de Tayleur et de Jackson ce changement doit se faire quand la machine est arrêtée et non pendant la marche, parceque la prise de l'excentrique par le toc n'est pas facile en marchant. Avant de s'approcher du train, le mécanicien modère beaucoup l'allure de sa machine en fermant le régulateur à temps; lorsqu'il est sûr de l'action de son frein, il arrive jusqu'au convoi sans délier la distribution, il ferme seulement son régulateur et le chauffeur se sert alors du frein pour arrêter. Cette manœuvre demande de la part du chauffeur de l'adresse, du coup-d'œil et de l'habitude.

Un mécanicien habile, qui n'a pas confiance dans son chauffeur, arrête sa machine cinq ou six mètres avant de toucher le convoi, lève les barres de conduite de la distribution pour la délier et marche à la main au moyen des manettes jusqu'au convoi.

La machine arrêtée devant le convoi, le chauffeur l'attache au train en prenant soin que les chaînes ne soient pas tordues et qu'elles soient prises chacune par leur crochet; le mécanicien imprime alors un très léger mouvement en avant à sa machine, pour tendre autant qu'il est possible les chaînes d'attache de tous les wagons qni composent le train, afin que lors du départ les voyageurs ne reçoivent pas de choc. Le levier du frein est alors abaissé et chevillé, les barres d'excentrique levées, et s'il y a excès de vapeur on chauffe l'eau du tender; le mécanicien met ensuite la soupape au point de pression ordinaire pour la marche en abaissant l'écrou du levier jusqu'au chiffre 60 de la balance, si les divisions sont faites en livres anglaises, et 27 si elles sont faites en kilogrammes.

Les mouvemens que nous venons de décrire doivent être décidés, vifs et indiquer à-la-fois l'attention et la sécurité de celui qui les accomplit.

La machine ainsi disposée, le mécanicien s'occupe de mettre l'huile pour graisser toutes les parties mises en frottement dans le travail de la machine; ce sont, dans l'ordre le plus important, les fusées des essieux, les pistons, les excentriques, les coussinets de manivelle, les guides, les tiges des pistons, celles des tiroirs, les arbres de distribution, les pistons des pompes, le régulateur, etc.; afin de ne rien oublier, on doit compter le nombre de pièces à graisser et répéter chaque fois que l'on fait cette opération la série des numéros.

Lorsque le mécanicien et le chauffeur descendent de la machine, soit pour piquer le feu, soit pour graisser, nettoyer ou pour toute autre cause, les barres d'excentrique doivent être levées afin que dans le cas où le régulateur laisserait échapper de la vapeur, ou si une personne inhabituée venait à l'ouvrir, la machine ne puisse faire qu'une partie de sa révolution et s'arrêter immédiate-

ment; cette précaution doit toujours être prise, et tout mécanicien qui la néglige est coupable.

Cinq minutes avant le départ, le mécanicien doit être tout-à-fait disposé et attendre l'ordre; à ce moment il fait recharger son feu aussi haut que le permet la porte du foyer; le combustible s'élève dans les petites machines jusqu'à la moitié des rangées de tubes de flamme.

71. Départ, conduite du train. — Aussitôt le signal, le mécanicien embraye la distribution, fait lever la barre du frein et ouvre légèrement le régulateur pour déterminer le départ de sa machine; si elle se porte trop rapidement en avant, il diminue aussitôt l'ouverture du régulateur jusqu'à ce que le premier mouvement ait fait tendre les ressorts de choc d'un certain nombre de wagons du train; de cette manière, le choc qui est produit par le départ de la machine perd une partie notable de son intensité, tandis que si, en laissant le régulateur trop ouvert, on ajoutait tout l'effort de traction de la machine au premier choc produit par son déplacement subit, ce choc, au lieu de s'éteindre sur les derniers wagons, prendrait pour eux une énergie d'autant plus grande que la masse qui les entraînerait serait plus considérable et animée d'une plus grande vitesse. Le temps pendant lequel l'ouverture du régulateur est presque complétement fermée doit être très court; sans cela les wagons sollicités se rapprocheraient, et la reprise de vapeur causerait un nouveau choc. On peut encore obtenir un départ sans choc en se servant du frein pour modérer la vitesse de déplacement de la machine; c'est le système le plus convenable quand on a un chauffeur adroit: le frein doit être tenu à la main, légèrement serré, jusqu'au moment ou le mouvement de traction a été transmis au dernier wagon du train.

Aussitôt la mise en mouvement du train, le mécanicien jette un regard derrière lui pour s'assurer qu'il n'a laissé aucune voiture en arrière par suite de la rupture des chaînes d'attache.

Au commencement de la marche, le régulateur doit être légère-

ment ouvert, afin que l'eau de la chaudière ne soit pas lancée par la cheminée. En effet, lorsque la chaudière étant toute pleine l'ouverture du régulateur détermine une grande émission de vapeur, cette vapeur emporte avec elle une quantité considérable d'eau qui passe par les cylindres et sort par la cheminée; il est d'ailleurs à remarquer que dans les machines locomotives, comme dans les machines fixes, la première vapeur qui sort de la chaudière est très chargée d'eau, par l'effet de la condensation de la vapeur sur les surfaces froides, et emportée avec les premiers jets de vapeur.

Une autre cause pour laquelle une quantité d'eau notable est lancée avec la vapeur, c'est souvent que, lors du départ, le niveau de l'eau dans la chaudière vient jusqu'à l'entrée des dômes d'introduction de la vapeur dans le tuyau qui la conduit aux cylindres.

Quand l'eau s'élève à ce niveau, il est impossible que la vapeur, en se rendant dans un si petit espace, ne projette pas, à cause de la rapidité de son passage, une quantité d'eau considérable dans le conduit d'émission.

Quelques constructeurs terminent le tuyau de prise de vapeur par un très large rebord incliné au-dessous de l'horizon, et placent un pareil rebord tout autour de la chaudière au-dessus du plus haut niveau de l'eau. Il résulte de ces dispositions que l'eau entraînée par la vapeur et qui s'élève le long des parois se trouve arrêtée et forcée de retomber. Les machines où ces rebords existent ne lancent presque jamais d'eau par la cheminée.

Le mécanicien reconnaît au bruit de l'échappement de la vapeur si elle est plus ou moins chargée d'eau.

La vapeur chargée d'eau produit en s'échappant un bruit qui ressemble à une déchirure; ce qui tient à ce que l'eau projetée par le conduit d'échappement tombant dans la boîte à fumée y est instantanément convertie en vapeur : la vapeur sèche produit une espèce d'explosion plus nette, moins prolongée que la précédente. A mesure que le bruit prend ce dernier caractère, on ouvre de plus en plus le régulateur.

Si, en partant, le mécanicien a à faire passer son train sur un croisement, il donne un coup de sifflet ondulé, et se fait rendre par l'aiguilleur le signal indiquant qu'il peut passer.

Lorsqu'il est parti avec excès de pression, il passe la main sur le levier de ses soupapes, parceque souvent la continuation du jet de vapeur ne tient plus alors qu'à ce qu'étant ouvertes elles présentent une surface beaucoup plus grande à la pression, que lorsqu'elles sont fermées.

L'ouverture du régulateur, lorsque le train a pris sa vitesse, doit toujours être modérée de manière à ce que la pression reste plus grande dans la chaudière que dans le tuyau d'émission de vapeur et dans les cylindres. Cette règle est indispensable à observer si l'on veut maintenir la production de vapeur à un degré suffisant pour une marche rapide et régulière.

Lorsque la voie de départ est, à la station, la même que la voie d'arrivée, le conducteur doit porter une grande attention aux signaux qui lui sont faits et aux ordres qu'il reçoit du chef de gare quand un train arrivant est en vue. A cet effet, il passe de temps en temps la main sur le levier de la balance quand le bruit de la soupape l'empêche d'entendre le sifflet du chef de gare ; il suspend ainsi le bruit de la décharge de la vapeur pendant quelques secondes, ce qui suffit pour s'assurer que l'ordre de suspendre sa marche ne lui est pas donné.

Lorsque la machine a parcouru, à partir du point de départ, un kilomètre et demi ou deux kilomètres, il importe de recharger le feu des chaudières dont la surface de chauffe n'est pas de plus de 60 à 65 décimètres carrés, parceque le mouvement a affaissé le feu chargé en station.

Dès ce moment commence pour le mécanicien le difficile travail de la production de vapeur à une pression et dans la quantité suffisante pour la marche rapide du convoi. Deux conditions également essentielles sont à observer : le maintien du feu qui produit la vapeur et l'alimentation d'eau pour remplacer celle qui est convertie en vapeur et maintenir le niveau nécessaire au-dessus de la boîte à feu.

Le maintien du feu est le premier soin et le plus important. Il ne faut pas l'oublier un instant parce que si on laisse consumer une trop grande partie du combustible, l'introduction d'une forte quantité de coke froid pour recharger le foyer, la lenteur qu'il met à s'échauffer, le refroidissement résultant du grand nombre de fois qu'il faut ouvrir la porte de charge, produisent un grand abaissement de la température du foyer, et un ralentissement instantané dans la production de la vapeur. La boîte à feu dans les petites machines de Bury, Jackson et Tayleur ayant 60 à 65 décimètres carrés de grille, contient trois hectolitres de coke jusqu'au premier rang de tubes. Dans la marche à charge ces machines consomment sept hectolitres par heure; le feu se trouve donc complètement renouvelé deux fois et un tiers par heure. Ces renouvellemens doivent avoir lieu au moins à sept ou à huit minutes d'intervalle, afin de n'avoir à ajouter à-la-fois qu'un hectolitre de coke formant un tiers de la quantité contenue dans le foyer.

72. Charge du foyer et alimentation. — L'introduction du coke dans le foyer doit se faire rapidement; le mécanicien tenant d'une main la chaîne avec laquelle il manœuvre la porte reste debout à sa place l'œil porté sur la ligne qu'il ne doit jamais quitter des yeux, et suivant cependant les mouvemens de son chauffeur qui charge le feu, afin d'ouvrir à point la porte du foyer, ni trop tôt pour ne pas la laisser trop long-temps ouverte, ni trop tard afin qu'elle ne renverse pas en s'ouvrant la charge de la pelle. Le coke doit être cassé en morceaux dont la plus forte dimension ne doit pas excéder un décimètre cube : au-delà l'air passe entre les morceaux de coke en combustion sans trouver une quantité de surfaces incandescentes suffisante pour l'échauffer et lui enlever l'oxigène; il passe alors froid à travers les tubes, et, comme il alimente peu la combustion, il ne crée pas de vapeur.

Il faut veiller à ce que le chauffeur charge toujours complétement sa pelle, afin de ne pas prolonger trop long-temps l'opération de la recharge du feu, et qu'il ne ramène pas du fond du tender de menus fragmens que la force du tirage enlèverait dans les

tubes et qui y empêcheraient le passage de la flamme et de l'air chaud.

Il faut également veiller à ce que la charge de coke soit répartie également sur la grille, et que le combustible ne soit pas plus entassé sur un côté que sur l'autre.

Au moyen de ces précautions dans la recharge du feu, on réussit en partant à créer une combustion très énergique dans le foyer et à élever la pression de la vapeur de manière à l'avoir en excès, ce qui se reconnait par la levée de la soupape. Cet excès de vapeur est dû principalement à ce que dans le parcours des trois ou quatre premiers kilomètres il n'a pas été nécessaire d'alimenter : d'abord la chaudière au départ contenait un excès d'eau, et de plus le courant de la vapeur produite par toutes les surfaces chauffées élève artificiellement le niveau de l'eau dans la chaudière de cinq à six centimètres ; ce qui permet de marcher pendant un temps assez considérable sans alimenter.

Supposons en effet que l'eau soit au départ dans la chaudière à quinze centimètres au-dessus de la plaque supérieure de la boîte à feu ; chaque tranche d'eau d'un centimètre d'épaisseur, multipliée par la longueur et la largeur de la chaudière à cette hauteur, contiendra environ vingt-cinq litres : or, à quatre atmosphères, la quantité de vapeur consommée par la machine et par kilomètre sera quatre fois le volume d'un cylindre par tour de roue, multiplié par le nombre de fois que la circonférence de la roue est comprise dans un kilomètre. Cette quantité se compose de 0 m. c. 027[1] (volume d'une cylindrée) multiplié par quatre et par le nombre de tours que fait une roue de 1 m. 698 de diamètre. Soit la circonférence des roues, 5,33, on aura pour le nombre de tours par kilomètre $\frac{1000}{5,33} = 187$: or, 187 multiplié par quatre cylindrées donne par kilomètre 748 cylindrées, ce qui forme 20 mètres cubes de vapeur. Or, à la pression de quatre atmosphères, qui ne peut exister dans les cylindres qu'à une marche

[1] Une cylindrée est égale à la surface du piston multipliée par la course ou égale au volume produit par chaque coup de piston.

lente, 465 litres de vapeur faisant un kilogramme d'eau, il en résulte que la machine consomme 43 kilogrammes par kilomètre, ou près de 2 centimètres de hauteur d'eau dans la chaudière. Il en résulte que la machine pourrait marcher pendant 7 kilomètres sans être alimentée, sans courir le risque de découvrir d'eau le dessus de la boîte à feu, parceque, comme nous l'avons déjà dit, le courant de vaporisation a pour effet d'élever artificiellement le niveau de l'eau dans la chaudière de 6 à 7 centimètres du côté de la prise de vapeur.

Le calcul ci-dessus n'est d'ailleurs applicable qu'aux machines qui débitent dès leur départ une vapeur très peu chargée d'eau; il ne s'applique pas à celles qui en lancent, en partant, avec la vapeur, une certaine quantité : aussi arrive-t-il dans ce cas qu'après le parcours de 4 à 5 kilomètres l'excès d'eau existant au départ est absorbé, et il faut profiter pour alimenter de l'abondance de la vaporisation produite par l'activité du foyer.

L'alimentation se fait en ouvrant le robinet du conduit de l'eau du tender à la pompe, et en essayant le robinet d'épreuve de la pompe. Ce dernier robinet indique par son jet plein et alternant suivant la marche du piston, que la pompe marche bien : quand le jet n'a pas lieu immédiatement, il faut le tenir long-temps ouvert; s'il rejette de l'eau chaude ou de la vapeur, c'est que le clapet de refoulement n'est pas étanche. S'il aspire l'air, c'est que le clapet d'aspiration ne se détache pas : dans les deux cas, il faut attendre et faire jouer le robinet, soit au moment du refoulement, soit au moment de l'aspiration, selon que l'on est conduit à supposer l'une des deux causes d'empêchement que nous venons d'indiquer dans le travail de la pompe. Lorsque les pompes sont d'un fort diamètre, il est convenable de laisser, pendant l'alimentation, le robinet d'épreuve constamment ouvert; cela ôte au choc du clapet d'aspiration une partie de son énergie au moment où le refoulement commence, et l'on ne court pas risque de crever le conduit de refoulement.

Dans les machines de Tayleur, Bury et Jackson, la pompe fournit à chaque coup de piston $^{8}/_{10}$ de litres environ, et par

conséquent 149 litres par kilomètre, ou pour 187 révolutions des roues. La consommation en vapeur est, pendant ce temps, de 43 litres d'eau, en supposant que la vapeur qui remplit les cylindres y soit à une pression de quatre atmosphères, ce qui existe bien rarement, soit à cause du peu d'ouverture du régulateur, soit à cause de la vitesse du piston, etc. Si la vaporisation s'élevait à 43 kilog. d'eau par kilomètre, on voit que l'alimentation devrait avoir lieu pendant près du tiers de la route ; il est loin d'en être ainsi, à moins de fuites considérables.

Nous avons dit qu'il fallait saisir pour alimenter le moment où il y a excès de vaporisation ; cet excès est indiqué par l'échappement de vapeur qui a lieu par la soupape ; l'alimentation se continue tant que cet excès dure et que le niveau que l'on veut obtenir n'est pas atteint ; lorsqu'il est possible d'alimenter, au-dessus du niveau ordinaire, sans baisser la pression, il y a utilité à le faire lorsque cela n'a pas pour résultat de faire rejeter de l'eau mélangée avec la vapeur. L'abondance d'eau est utile parce que la recharge du feu ayant pour effet de refroidir les parois de la chaudière et le foyer, la production de vapeur diminue en ce moment et la pression s'affaiblit. Il est indispensable d'arrêter l'alimentation avant de recharger le feu et de ne la reprendre que lorsqu'il est bien rallumé et que la force de la vaporisation a repris son énergie. C'est à cause de ces intervalles dans l'alimentation qu'il est bon de la pousser au-delà du niveau absolu, quand cela est possible sans abaisser la pression, de manière à trouver dans cet excès d'eau une espèce de réservoir pour un certain temps de marche.

Lorsque la production de vapeur résultant de l'énergie du foyer ne va pas jusqu'à faire lever la soupape, les seuls moyens qu'a le mécanicien de juger s'il est convenable d'alimenter sont : d'éprouver la soupape en levant légèrement le levier. Si un très léger effort dans ce sens suffit pour produire un dégagement de vapeur, c'est que la pression est près de sa limite supérieure ; s'il faut forcer beaucoup, c'est que la pression est très faible. L'habitude donne le moyen de bien juger ainsi la pression. Le second

moyen et le plus convenable, c'est l'audition du bruit causé par l'échappement de vapeur. Il faut qu'un mécanicien ait dans les oreilles bien exactement la nature et le degré d'énergie du bruit causé par l'échappement quand la pression est à sa limite supérieure, et qu'il s'aperçoive aussitôt de la décroissance de ce bruit. C'est sur cela, bien plus qu'aux indications de la soupape, qu'il doit se guider pour alimenter d'eau sa chaudière.

En général, il faut se garder de pousser l'alimentation jusqu'à un trop grand abaissement de la pression, parcequ'alors l'énergie du tirage s'affaiblit rapidement, et si, dans ce moment, il faut recharger le foyer, le nouveau refroidissement causé par cette opération rend alors la pression de la vapeur tout-à-fait insuffisante pour entretenir la marche du convoi.

Il est de règle, toutes les fois qu'une machine ne produit pas beaucoup de vapeur, de lui en peu demander, et, par conséquent, d'ouvrir légèrement le régulateur. Ménager sa vapeur est dans ce cas le seul moyen de ne pas être forcé de suspendre la marche du convoi.

Quand une machine produit trop de vapeur, il est assez convenable de rendre l'alimentation continue en réglant la quantité d'eau introduite par la pompe de la chaudière par le rétrécissement du robinet, et en la rendant à-peu-près égale à celle qui est transformée en vapeur. Mais cela a rarement lieu, parceque les mécaniciens préfèrent économiser le combustible que de créer une trop grande quantité de vapeur, et qu'en continuant l'alimentation d'une chaudière qui ne produit que la quantité de vapeur nécessaire, pendant la recharge du feu qui refroidit la chaudière et le foyer, on courrait le risque de trop abaisser la pression.

73. Condition de bonne marche d'une machine. — On voit que la marche des machines locomotives dépend de plusieurs conditions essentielles :

L'intensité continue de la combustion dans le foyer,

L'alimentation d'eau dans la chaudière,

Le maintien de la pression de vapeur.

Ces trois conditions assurent la marche des machines ; mais si l'une d'elles cesse d'être remplie, à l'instant la position du mécanicien se complique, et son étourderie ou son incapacité ont alors pour résultat ou le retard ou l'arrêt du convoi.

Sans doute il est facile à un mécanicien de forcer son feu ; mais s'il conduit mal l'alimentation, il fera de vains efforts pour maintenir la pression de vapeur, parceque dès que la pression s'abaisse, le tirage causé par l'échappement s'affaiblit, et la combustion perd immédiatement son intensité. En effet, supposons le cas où le mécanicien a laissé abaisser le niveau de l'eau dans la chaudière au-dessous du point minimum, il faut alors qu'il introduise une grande quantité d'eau dans la chaudière, et alors il arrivera souvent qu'avant d'atteindre le niveau il aura refroidi la chaudière et affaibli notablement la pression.

Supposons, au contraire, qu'il ait oublié ou mal conduit son feu, la pression tombant à sa limite, les premiers jets de l'alimentation l'affaibliront immédiatement.

Dans les deux cas il faudra diminuer l'ouverture du régulateur afin d'émettre moins de vapeur, laisser reprendre peu à peu la combustion qui renaîtra avec toute son activité aussitôt que la pression aura augmenté le tirage, car c'est un fait remarquable que le tirage provient beaucoup moins de la quantité de vapeur sortant par le conduit d'échappement que de la pression de cette vapeur.

Le remède dans ces deux circonstances entraîne toujours au moins le ralentissement de la vitesse.

Ainsi que nous l'avons dit dans l'exposé des principes du travail des machines locomotives, ce qui fait la différence essentielle entre elles et les machines fixes, c'est la nécessité de trouver dans la pression de la vapeur à l'échappement un moyen de tirage que les hautes cheminées et la bonne conservation de la chaleur dans les carneaux donnent aux machines fixes.

Ainsi la pression de la vapeur dépend de la combustion, et la combustion du tirage : cet enchaînement fait à-la-fois le mérite et la faiblesse des machines locomotives, car ce que cette inven-

tion a d'ingénieux est acheté au prix d'une délicatesse excessive, aussi ne faut-il pas s'étonner que l'intelligence exercée d'un mécanicien et la parfaite entente de sa machine ne suffisent pas toujours et qu'il faille y joindre encore cette longue pratique qui donne sans efforts et tension d'esprit la finesse de tact qui distingue les bons mécaniciens.

Lorsqu'un mécanicien a laissé tomber son feu, il ne faut pas qu'il le recharge comble aussitôt qu'il s'en aperçoit, cela refroidirait trop le foyer ; il y revient à plusieurs fois.

Lorsque par des causes que le mécanicien ignore, la chaudière produit peu de vapeur, il faut, règle générale, commencer par en donner peu en fermant le régulateur plus que d'habitude. Dans ce cas il faut l'attention la plus soutenue et tâcher d'alimenter dans les momens où l'on a le vent en sa faveur. Quand on a le vent contraire à la direction générale de la ligne, les tranchées offrent un abri dont il faut profiter.

Il faut éviter d'alimenter dans les fortes rampes, et dans les courbes ; il faut au contraire aborder ces points avec un supplément d'eau dans la chaudière, mais à tout prix sans affaiblissement de pression. Les grands remblais sont également des passages plus difficiles, la vitesse s'y ralentit presque toujours.

Une chaudière est en bon état quand le mécanicien y produit à volonté, en augmentant le feu, un excès de vapeur ; cependant il faut remarquer que lorsqu'un mécanicien porte une grande attention à sa machine, qu'il tient ses tubes de flamme bien débouchés, qu'il fait, pendant son séjour en station, chauffer l'eau du tender, que son feu a été piqué convenablement, qu'il a rechargé son foyer assez tôt avant le départ pour que le combustible s'échauffe et s'allume bien, qu'il part à pleine pression et avec un fort dégagement de vapeur par les soupapes, alors et au moyen de toutes ces précautions une machine, dont la chaudière est même en assez mauvais état, travaille avec toute satisfaction. Aussi est-il vrai de dire que la machine obéit à l'habileté et au soin du mécanicien.

Les nouvelles dimensions de la boîte à feu qui augmentent la superficie de la grille dans le rapport de 6 à 10, et la quantité de

coke dans le rapport de 3 à 6 hectolitres, rendent la conduite de la machine plus facile par rapport au soin du foyer. Mais une autre tâche se présente alors pour le mécanicien, c'est de mesurer la production de vapeur suivant le travail que la machine doit opérer, en admettant toutefois que la machine n'ait à remorquer qu'un train moins lourd que celui qu'elle est capable de traîner. A défaut de régulateur de tirage, il doit alors ne charger son foyer que modérément, autrement la production de vapeur serait aussi exagérée que la consommation du combustible. Il le renouvellera souvent par faibles quantités; il portera le niveau de l'eau dans la chaudière beaucoup au-dessus de la marque ordinaire, et le maintiendra par une alimentation continue. Le régulateur ne devra être ouvert que pour obtenir une vitesse convenable; et si la production de vapeur venait à diminuer, on pourra ranimer le foyer en ouvrant le régulateur pour augmenter le tirage. En général, il faudra s'efforcer d'avoir toujours un feu égal, une vitesse régulière, un niveau d'eau constant; une machine est mal conduite lorsque, dans un trajet de quelques lieues, la combustion dans le foyer est tantôt trop violente tantôt trop faible; que la production de vapeur est tantôt en excès tantôt insuffisante, et que le niveau de l'eau diminuant progressivement, c'est à grand' peine que le mécanicien arrive à la limite de son voyage et qu'il est forcé de faire jouer ses deux pompes à l'arrivée pour regagner un niveau d'eau suffisant. Aussi est-ce un point important de savoir, dès le départ, donner au régulateur l'ouverture convenable. Il arrive souvent qu'un mécanicien, partant avec un train plus lourd que ceux qu'il a coutume de conduire avec sa machine, profite de ce que la vapeur est abondante pour se lancer à une vitesse qu'il lui devient bientôt impossible de soutenir; il n'a pas compris que la vapeur devant agir dans les cylindres à une plus grande pression que d'habitude, puisque la résistance est plus grande, le foyer ne peut suffire à en produire la quantité qu'il lui demande. Forcé alors de rétrécir l'ouverture du régulateur, il perd presqu'entièrement sa vitesse et ne peut la reprendre que difficilement. C'est dans ces circonstances que le mécanicien inhabile se

plaint à tort du mauvais état de la machine; tandis que s'il avait su régler la dépense de vapeur en raison de la production, il eût fait son trajet avec une vitesse régulière et aussi grande qu'il était permis de la demander, eu égard à la puissance de la machine.

Dans le cas où les machines seraient munies d'un régulateur de tirage, que ce soit un papillon mis dans la cheminée ou un robinet d'échappement de vapeur, on pourra alors charger le foyer complétement, et l'attention devra se porter à ne maintenir la production de vapeur qu'à la mesure juste pour que la pression soit toujours au degré réglé par les soupapes, qu'elle ne s'élève pas de manière à entraîner un grand dégagement de vapeur, qui est alors produite en pure perte, et qu'elle ne s'abaisse pas jusqu'à retarder la vitesse du convoi. Cela sera d'autant plus facile que, dès que la pression s'abaissera, le conducteur rendant à la machine l'énergie de son tirage, il y aura une production instantanée de vapeur, parceque le foyer sera toujours en plein état de combustion. La conduite sera donc très facile, et permettra au mécanicien de donner à sa marche une grande régularité, tout en limitant sa consommation de combustible.

Les indications fournies par le tube indicateur d'eau sur le niveau de l'eau dans la chaudière, ne doivent être regardées comme exactes que lorsqu'on a vérifié, en ouvrant le robinet inférieur pour laisser échapper l'eau qu'il contient, si les orifices inférieur et supérieur sont ouverts. Outre les indications fournies par ce tube de vèrre, il faut, de temps en temps, vérifier si celles que donnent les robinets d'épreuve sont conformes à celles de l'indicateur.

La charge du foyer en combustible doit être préparée d'avance dans le tender, de manière à ce que le coke se place facilement sur la pelle. Le chauffeur doit avoir le tour de main pour décharger convenablement la pelle dans le foyer, sans renverser le coke à l'entrée et sans tenir long-temps la porte ouverte. Quand il entre la première pelletée dans le foyer, s'il trouve le coke en combustion plus entassé contre la porte que contre la plaque d'assemblage des tubes, il repousse le coke vers le fond du foyer. Il a ensuite soin de

distribuer également le coke sur toute la superficie de la grille. Il cherche à amener sur sa pelle le moins de petits fragmens qu'il lui est possible, de peur que le tirage ne les entraîne dans les tubes. Les machines dont les portes sont élevées de 12 à 15 centimètres au-dessus du sol de la place où se tient le mécanicien sont beaucoup plus commodes que celles où les portes s'ouvrent jusque sur ce sol, parceque les fragmens tombés de la pelle n'empêchent pas la porte de se fermer. Le chauffeur doit avoir le soin que sa pelle soit bien chargée, afin de réduire le plus possible le nombre de fois où il faut ouvrir la porte pour alimenter le foyer.

Lorsque l'on brûle de la houille il ne faut pas la mélanger avec le coke, mais la charger seule au moment où le foyer est complétement incandescent, parcequ'elle s'échauffe rapidement et que la fumée produite est presque immédiatement brûlée.

Un mécanicien attentif peut brûler une quantité très notable de houille sans incommoder les voyageurs; il choisit pour cela, d'abord les momens de grande incandescence du foyer, et puis le moment où le vent ne porte pas la fumée sur le convoi. La section d'entrée d'air des grilles suffisante pour le coke devient insuffisante pour la houille. Aussi faut-il, la plupart du temps, pour brûler la fumée, laisser la porte du foyer entr'ouverte.

Le mécanicien doit avoir constamment les yeux sur la route, surtout dans les courbes. En entrant dans les alignemens il doit bien s'assurer qu'il ne se présente pas d'obstacles devant lui; il doit ensuite jeter souvent derrière lui un coup-d'œil sur le train qu'il conduit, pour vérifier s'il n'a pas brisé de chaînes ou de crochets et laissé de voitures derrière lui, s'il n'a pas d'essieu brisé, de portières ouvertes.

Nous renvoyons au chapitre des *accidens* pour indiquer ce qu'il y a lieu de faire dans un des cas qui précèdent. Il jette ensuite de fréquens regards sur sa propre machine, sur son mécanisme.

Le mécanicien doit s'efforcer de reconnaître à la mesure égale et symétrique des échappemens de vapeur la régularité de la distribution, c'est-à-dire du mouvement du tiroir. Pour une révo-

lution des grandes roues, il doit entendre à intervalles égaux quatre échappemens; toutes les fois qu'il y a inégalité de temps entre les échappemens, c'est que la distribution est mal réglée. L'avance du tiroir ne motive pas d'irrégularité, puisqu'elle est égale pour l'un comme pour l'autre cylindre. L'attention du mécanicien à la marche de la distribution doit être naturelle en lui. Il arrive quelquefois qu'en ouvrant fortement le régulateur, la pression exercée sur les tiroirs et l'énergie des frottemens qu'ils éprouvent dans leur marche deviennent tels que les pièces de la distribution ont à opérer un très grand effort; leur élasticité est alors vivement sollicitée, et la distribution perd tout-à-fait sa régularité par les retards dans le jeu des pièces qui la composent. Il faut aussitôt réduire l'ouverture du régulateur pour rendre à ces pièces un jeu plus facile et aux tiroirs un mouvement plus régulier.

Le mécanicien doit toujours donner à sa machine une vitesse régulière. L'habitude qu'il doit avoir de la mesure de l'intervalle des échappemens de vapeur doit lui indiquer s'il a acquis sa limite de vitesse. Cette limite doit être de 40 kilomètres par heure, ou 1 kilomètre dans 90 secondes. Il faut avoir égard au poids du train, qui entraînera s'il est trop lourd. Il doit adopter une limite de vitesse inférieure à celle énoncée. Il ne doit diminuer sa vitesse que dans les endroits où la pose a éprouvé des dénivellations par suite du tassement des terrains ou du défaut de résistance du sable de pose : à l'abord des courbes de petit rayon, le mécanicien diminue beaucoup l'ouverture du régulateur; il le ferme complétement lorsqu'il passe sur les croisemens placés sur la ligne, quand il a éprouvé que ces croisemens donnent lieu à des chocs, ou lorsque les essieux ont beaucoup de jeu dans les boîtes à graisse et que les saillies des cercles des roues peuvent heurter sur les pointes des croisemens. L'habitude que le mécanicien doit avoir du bruit d'échappement de la vapeur dans la cheminée doit lui donner une disposition tout-à-fait instinctive qui lui fait reconnaître immédiatement l'état et les variations de la pression, celles de la vitesse, et enfin la régularité de la distribution.

Le mécanicien doit porter de l'attention aux cantonniers; lors-

qu'il arrive qu'il conduit un train à des heures extraordinaires, il est possible qu'ils soient dans leurs guérites, surtout dans les mauvais temps. Ils en sortent subitement quand ils entendent le train. Dans ce cas, lorsque le conducteur n'aperçoit pas le cantonnier sur la ligne, il le siffle avant d'arriver à la guérite. Il en est de même pour les passages de niveau, surtout dans les courbes.

Le mécanicien qui voit un train marchant en sens opposé sur une autre voie que la sienne, tend le bras du côté de la direction qu'il vient de parcourir, s'il a trouvé la voie que parcourt le train franche d'obstacles; si, au contraire, il a trouvé un obstacle sur la route, soit un train arrêté par retard de la machine, soit des voitures laissées par suite de ruptures de chaînes, soit dérangement de la voie par des causes accidentelles, il fait, au mécanicien qu'il vient à croiser, le signe de prendre garde, et de ralentir la vitesse.

Le mécanicien doit connaître à fond sa ligne; son regard doit être, pour ainsi dire, sollicité par tout ce qui peut s'y rencontrer d'inattendu; il doit se faire une grande habitude de reconnaître les signaux des stations et ceux qui se trouvent sur la ligne.

C'est surtout la nuit que la connaissance du chemin, des feux qui l'éclairent, des signaux aux stations est absolument indispensable au mécanicien.

Le dérangement des feux, l'addition ou la suppression d'une des lumières doivent être immédiatement remarqués par lui et exciter son inquiétude.

Les lumières de son propre train doivent attirer aussi son attention de temps en temps; il reconnaît que les fanaux d'arrière ne sont pas éteints à la lueur qu'ils répandent sur la ligne.

74. Conduite des trains a deux machines. — Dans la conduite à deux machines c'est le mécanicien de la machine placée en tête du convoi qui conduit; la seconde machine est seulement pour prêter aide. En conséquence le mécanicien de cette machine ne doit ouvrir son régulateur qu'après que tout le train est en mouvement, afin de ne pas briser les chaînes d'attache des wagons et de ne pas donner une trop forte secousse de départ au convoi; il ne doit pas faire

usage du frein pour arrêter sans l'invitation du mécanicien qui le précède. Il doit avoir l'œil sur lui pour être prêt à suivre ses indications, et porter souvent sa vue sur le train : ce soin est indispensable. Nous indiquerons au dernier chapitre les précautions à prendre dans le cas où une partie du convoi se détacherait.

75. Arrêt aux stations. — L'arrêt d'un train doit être fait avec prudence, mais cependant sans entraîner plus de temps qu'il n'est nécessaire. Les causes et moyens d'arrêt du convoi sont les frottemens naturels, le frein du tender, la marche à contre-vapeur de la machine. Les deux premiers effets doivent suffire si le frein est en bon état. Les mécaniciens apprennent par l'habitude le point où ils doivent fermer le régulateur; la vitesse et le poids du train qu'ils conduisent sont toujours à considérer. Plus un train est pesant, plus il a de force vive, par la vitesse acquise, moins il s'arrête facilement. Un train léger ayant moins de force vive s'arrête au contraire très facilement sous l'influence du frein ou de la mise à contre-vapeur de la machine.

Il ne faut pas arriver avec trop de vitesse sur les gares de manière à être obligé de mettre la vapeur contraire, d'abord parceque cela fatigue la machine, et puis parceque la vitesse a une influence nuisible sur les croisemens que l'on rencontre en grand nombre dans les gares.

Lorsque le mécanicien veut arrêter un convoi, il commence par fermer le régulateur; ensuite il attend, pour baisser le frein et peser sur le levier, que, par l'effet du ralentissement produit par les frottemens, les voitures du train se soient toutes appuyées l'une contre l'autre. Cela s'effectue rapidement, parceque, la machine donnant lieu à des frottemens plus considérables que les wagons, les premiers de ceux-ci, éprouvant davantage la résistance de l'air, se ralentissent avant les autres. L'action du frein doit être conduite de manière à ce que le ralentissement ne se manifeste pas aux voyageurs par des mouvemens subits; ils ne doivent s'en apercevoir que parceque les objets à côté desquels ils passent se dérobent moins vite à leurs regards : quand un ralentissement notable a eu lieu et que le convoi perd constam-

ment de sa vitesse, on supprime l'action du frein assez tôt pour ne pas être obligé d'ouvrir de nouveau le régulateur.

Un train est mal arrêté lorsque pour arriver à la station le mécanicien reprend plusieurs fois l'émission de la vapeur. Le convoi est alors soumis à des mouvemens que les voyageurs n'aiment pas; ils ne veulent pas, et avec raison, sentir brusquement l'influence de l'appareil qui les entraîne.

Lorsqu'un mécanicien arrive à la station avec trop de vitesse, soit que son frein soit en mauvais état, soit par négligence; si en plaçant la vapeur à contre-marche il ne peut arrêter le convoi, c'est qu'il n'a pas conservé dans la chaudière une pression de vapeur suffisante par la grande quantité d'eau froide qu'il a été obligé d'y introduire. C'est donc uniquement à son inhabileté qu'il doit s'en prendre.

Il est infiniment rare que les frottemens des freins et la vapeur renversée ne suffisent pas pour arrêter les convois.

Généralement le ralentissement des convois doit avoir lieu aux points d'arrivée, suivant les indications que nous avons données, à 600 mètres des croisemens, qu'il ne faut aborder qu'avec précaution.

Il serait fort à desirer que l'on adoptât un système de freins qui fût mis en communication avec les ressorts de choc et d'attache; les arrêts auraient alors lieu presque subitement, et l'on éviterait les pertes considérables de temps qu'entraînent les arrêts aux gares.

Le mécanicien doit, à l'arrivée à la station, faire une grande attention aux signaux qui en partent; ces signaux ont une grande importance, à cause des retards qui pourraient résulter de l'encombrement des trains dans les gares.

76. Soins de la machine en station. — En arrivant en station le mécanicien dévisse la rondelle d'arrêt du levier de la balance mobile et réduit la limite de pression à 35 ou 40 livres par pouce carré. Il passe sa machine sur les plates-formes; et s'il doit repartir immédiatement, il nettoie l'entrée des tubes, tandis que le chauffeur

tourne le tender sur les plates-formes, et, dès que cette opération est terminée, il charge son foyer immédiatement, de manière à ce que le combustible ait le temps de s'échauffer. Il va ensuite prendre de l'eau, et pendant la prise d'eau il fait piquer le feu.

Il serait bon qu'il y eût dans les stations, aux gares des chemins de fer, une grande chaudière placée à un niveau supérieur aux machines locomotives. L'eau serait introduite dans cette chaudière en faisant le vide au moyen de la condensation de la vapeur fournie par la machine et on l'emplirait ainsi d'eau. Une fois plein, on le mettrait en communication avec la grande chaudière en faisant agir sur le niveau supérieur la pression de la vapeur elle-même. Ce moyen d'alimentation des chaudières à haute pression est très employé dans beaucoup d'établissemens. L'eau de la grande chaudière pourrait être chauffée par la vapeur des machines locomotives et leur rendrait de l'eau; par ce moyen elles se trouveraient alimentées sans déplacement. Cette disposition permettrait de grandes économies de combustible, tout en évitant les mouvemens et les accidens qui ont lieu dans les gares pour l'alimentation des machines en attente. Nous le recommandons instamment.

L'opération de piquer le feu consiste à faire tomber le mâche-fer qui s'accumule sur la grille et empêche le passage de l'air. Les chauffeurs ont l'habitude d'entraîner avec le mâche-fer une grande quantité de coke; cela est inutile et nuisible en ce sens qu'il en résulte une perte de combustible. Il est des foyers de machine où l'intensité de la combustion est telle que les mâche-fers sont vitrifiés et coulent, surtout lorsque le coke est de bonne qualité; les grilles de ces foyers ont plus rarement besoin d'être piquées. Après le piquage du feu, le mécanicien visite sa machine, interroge avec le manche du marteau les différentes pièces mobiles, les barres d'excentrique et leurs colliers, les bielles, les coussinets des grandes traverses, etc., pour s'assurer qu'elles ne ferraillent pas par le desserrage des clés ou des assemblages. Il s'assure que des pièces en frottement ne sont pas échauffées, que l'huile a bien alimenté les surfaces frottantes, il passe la main

sur les principaux grains. Cette visite, qui est d'ailleurs sommaire, doit être faite très rapidement, en suivant la méthode d'examen que nous avons indiquée au commencement.

La machine bien visitée, le tender plein d'eau, le feu piqué et rechargé, le mécanicien met sa machine en tête du convoi; s'il trouve le niveau de l'eau dans la chaudière insuffisant pour attendre jusqu'à l'heure du départ, il profite du temps qui lui reste pour alimenter. Pendant tout le temps de l'attente dans les stations, les mécaniciens doivent ouvrir la communication de la vapeur avec le tender, pour en chauffer l'eau; il en résulte une économie très importante de combustible: ce soin est tout-à-fait essentiel.

77. Boite d'outils; tenue du mécanicien. — La boite d'outils doit contenir un marteau-rivoir, une clé anglaise à vis, une clé à coulisse, différentes clés pour les boîtes à étoupe, pour les raccords des tuyaux de pompe, en général pour tout ce qui dans la machine est sujet à un serrage continu ou à prendre de la mobilité, un marteau en cuivre pour battre les clés, des burins et limes, de l'étoupe, de la ficelle, du coton en mèches, du linge en chiffons et les outils nécessaires au nettoyage, une brosse et du savon.

Il faut aussi se munir d'huile pour le graissage; on en remplit la burette et le bidon : le bidon doit être bouché.

Le mécanicien doit être habillé de manière à ne pas être gêné dans ses mouvemens, à n'être pas pris et accroché par le mouvement des pièces dont il s'approche. Le garde-vue de sa casquette doit lui garantir les yeux du vent et des fragmens de coke tombant de la cheminée; sa veste doit être boutonnée sur le devant jusqu'au col; son pantalon doit couvrir ses souliers; et ses souliers doivent être légers et très hauts de quartier, s'il ne porte pas de bottes.

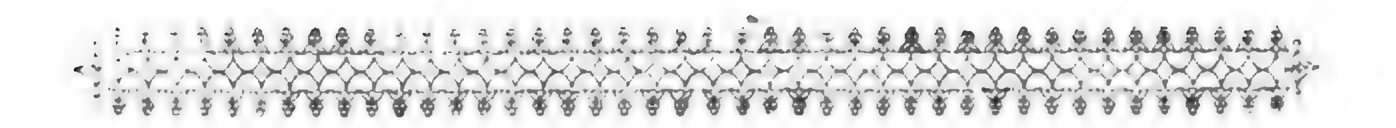
L'hiver un mécanicien doit être habillé en drap, et porter une cravate en laine; l'été son habit doit être en velours ou en drap de coton: il doit toujours se distinguer par une tenue aussi propre

que possible : les taches sur les habits n'empêchent pas la propreté du corps ; c'est par celle-là que les gens bien élevés se distinguent dans tous les états. La blouse ou la demi-blouse d'atelier sont des vêtemens incommodes ou insalubres, et peu susceptibles de propreté ; il faut s'en abstenir. La demi-blouse peut être admise pour les chauffeurs, mais il faut qu'elle soit serrée par une coulisse à la taille.

A la fin de la journée le mécanicien doit veiller au jet du feu; il ferme, avant cette opération, le régulateur du tirage s'il y en a un à la cheminée ; il fait extraire les barreaux de la grille par son chauffeur, s'il doit déplacer sa machine de dessus la fosse; il place sa soupape au n° 20 de la balance, et ouvre celui des robinets de niveau qui se trouve au-dessus de l'eau, afin que lors du refroidissement de l'eau et de la condensation de la vapeur, la rentrée d'air se fasse facilement dans la chaudière ; le chauffeur verse de l'eau sur le feu jeté, afin de l'éteindre.

Avant cette opération un conducteur soigneux nettoie sa chaudière en faisant marcher sa machine pour l'alimentation, tout en ouvrant de temps en temps les robinets de vidange des parois de côté et de front de la boîte à feu. Cette opération est nécessaire tous les deux jours. Sous l'influence de la pression les incrustations non encore solidifiées se détachent et sont rejetées par les robinets de vidange; les machines sont ainsi infiniment ménagées.





QUATRIÈME PARTIE.

DES ACCIDENS.

78. Les accidens sont extrêmement rares sur les chemins de fer. La circulation y est servie par des agens mécaniques bien autrement susceptibles de docilité et de précision que les moyens employés sur les routes ordinaires. Aussi comparativement à ces routes, les chemins de fer offrent un degré de sécurité incontestable. Dans l'esprit des personnes inhabituées, cette absence absolue de tout danger s'est réconciliée difficilement avec la rapidité du transport; une crainte vague les préoccupait, bien qu'il leur fût impossible d'en préciser le motif. Partout où les chemins de fer ont été établis, ce sentiment a complétement disparu, les chemins de fer sont entrés dans les habitudes des populations plus vite que les bateaux à vapeur.

Nous avons divisé en plusieurs catégories les accidens qui peuvent avoir lieu sur les chemins de fer :

1° Les accidens qui ne peuvent causer qu'un simple ralentissement de la vitesse du convoi;

2° Les accidens qui obligent le mécanicien à suspendre momentanément la marche du convoi ;

3° Les accidens qui, sans rupture de pièces, obligent le mécanicien à suspendre complétement la marche du convoi jusqu'à ce qu'une autre machine vienne le pousser ;

4° les accidens qui produisent le même résultat en entraînant la rupture de quelques pièces de la machine ;

5° et enfin les accidens produits par un concours de circonstances infiniment rares, dont le retour est à-peu-près impossible quand ils ont eu lieu une fois sur un chemin.

§ I. Accidens pouvant causer un ralentissement momentané dans la vitesse de la marche du convoi.

Ces accidens sont :

1° L'échauffement des boîtes à graisse; on s'en aperçoit à l'odeur que répand la vapeur d'huile, à la couleur bronzée que prennent les boîtes, au bruit de grippement qu'elles font entendre; il faut alors, sans s'arrêter, les alimenter d'huile, ou si elles sont trop chaudes les arroser avec de l'eau froide prise dans le tender;

2° L'échauffement des tiges des pistons, des tiroirs et des excentriques; ce frottement est annoncé ordinairement par le bruit du grippement, il faut alimenter d'huile en marchant, autrement les tiges seraient profondément rayées; et si elles s'échauffaient trop, l'étoupe des stuffing-boxes brûlerait et la tige même pourrait perdre sa rigidité et se plier;

3° L'échauffement des coussinets des bielles; on s'en aperçoit au bruit de grippement, à la limaille de cuivre dont l'essieu coudé se couvre près de l'assemblage de la bielle; il faut de suite alimenter d'eau et d'huile. Cela est important car le grippement peut amener des frottemens tellement énergiques que la bielle en est pliée et rompue, et il peut arriver des ruptures dans les cylindres analogues à celles que nous décrirons au paragraphe IV;

4° Grippement des pistons dans les cylindres; on l'entend au bruit qu'il produit; il faut alors fermer le régulateur et introduire de l'huile dans les cylindres par les robinets de l'avant;

5° L'ouverture des portières des wagons; si elles peuvent passer, sans courir risque d'être rompues, dans les travaux d'art, il n'est pas nécessaire de s'en occuper; autrement il faut absolument ralentir les convois pour les fermer; quelques conducteurs ont l'habitude de marcher sur les impériales jusqu'au wagon dont une portière est ouverte, pour aller la fermer; ils doivent dans ce cas faire la plus grande attention au passage sous les travaux d'art;

6° Les fuites des tubes peuvent se déclarer avec assez d'intensité pour empêcher la génération d'une quantité de vapeur suffi-

sante pour marcher à une grande vitesse; dans ce cas il faut la ménager infiniment en ralentissant la marche et en réduisant beaucoup l'ouverture du régulateur;

7° La perte d'eau des machines par le régulateur prend quelquefois une telle intensité qu'il devient très difficile de marcher en remorquant le convoi et en alimentant à-la-fois; si on s'en aperçoit au départ, on avertit le cantonnier pour qu'une machine soit envoyée après le train pour le pousser; si on est trop avancé il faut réduire beaucoup l'ouverture du régulateur et ne prendre de vitesse que celle qui est possible en conservant la vapeur sèche;

8° Lorsque le frein vient à se rompre ou qu'il est usé complétement, il faut arrêter le convoi plus tôt avant l'arrivée en station, en renversant la marche des tiroirs et en opposant ainsi la pression de la vapeur à la marche du convoi;

9° Dans les grandes vitesses, il arrive quelquefois que les manetons des leviers de distribution sont abandonnés par l'enclanchement des barres d'excentrique qui sautent; on s'en aperçoit dans les machines à deux manettes parceque l'une d'elles cesse de marcher; on s'en aperçoit aussi au bruit des échappemens de vapeur dont le nombre diminue immédiatement de moitié; il faut alors faire mouvoir la manette afin que le maneton rencontre l'enclanchement de la barre qui retombe à sa place.

§ II. Accidens qui obligent a suspendre momentanément la marche du convoi.

La rupture des chaînes qui attachent la machine au train ou qui attachent les wagons entre eux est le seul accident que nous placerons dans cette catégorie.

Lorsqu'un mécanicien s'aperçoit qu'une des chaînes de son train vient de rompre, si la partie du convoi détachée de celle qui est remorquée par la machine conserve la vitesse d'impulsion qu'elle avait au moment de la rupture et suit de près le train tout en perdant peu-à-peu sa vitesse, il faut qu'il continue à

marcher en imprimant à sa machine une vitesse à-peu-près égale, plutôt même un peu supérieure à celle des wagons qu'il a perdus, en s'en tenant à une distance de 100 mètres environ : quand les wagons abandonnés à eux-mêmes ont presque complétement perdu leur vitesse, il se laisse approcher davantage; mais il ne doit jamais les laisser arriver complétement sur lui : si cela arrivait, même à une très faible vitesse, les wagons abandonnés venant heurter contre le train lui feraient éprouver une forte secousse qui pourrait faire sortir un ou deux wagons de la voie; dans tous les cas la secousse serait désagréable aux voyageurs, tandis qu'une manœuvre très bien faite pour rejoindre deux parties séparées d'un train les intéresse et les amuse.

Quand les wagons séparés sont arrêtés, il s'en rapproche avec ménagement et assez près pour pouvoir rattacher les chaînes.

Un mécanicien auquel l'accident que nous venons de décrire arrive pour la première fois doit se tenir à une distance de plus de 100 mètres des wagons séparés de son train.

Si la partie de train en arrière de lui est la plus considérable, il ne faudra pas qu'il ferme complétement le régulateur, car le ralentissement de sa machine serait trop rapide puisque l'autre partie du train ayant plus de masse conserverait plus long-temps sa vitesse.

Si au contraire les wagons séparés du train sont moins nombreux que les autres, le mécanicien peut simplement fermer le régulateur; sa vitesse sera toujours supérieure à celle des wagons séparés.

Dans les manœuvres que nous venons de décrire, on voit que jamais le mécanicien ne doit faire usage du frein.

Quand le mécanicien s'aperçoit qu'il a perdu une partie de son train et que cette partie n'est plus en vue, s'il sait positivement qu'il ne peut l'avoir perdu qu'à une faible distance, si d'un autre côté le train qui doit le suivre ne doit partir qu'une heure ou deux après lui et qu'il ne lui faille que quelques minutes pour retrouver les wagons séparés, il doit revenir sur ses pas à moins de réglement contraire.

Quand il ignore où il a perdu ses wagons il continue sa marche, et s'il est croisé par un train il s'arrête et fait au train qui s'avance les signes d'arrêt pour l'informer de l'accident qui lui est arrivé; le mécanicien du train qui vient d'être averti reprend sa marche et s'arrête près des wagons séparés afin de reprendre les voyageurs que le retard qu'ils éprouvent engageraient à rebrousser chemin; il prend ceux-là dans son convoi, arrivé à la gare il fait son rapport sur les circonstances.

Une machine est alors expédiée pour aller pousser les wagons restés sur la route; elle les rejoint et les aborde en ayant soin de ne pas leur faire subir de secousse: le mécanicien attache sa machine aux wagons et les pousse, mais en ne prenant de vitesse que dans les alignemens; aux courbes il ralentit beaucoup sa vitesse et siffle: cette précaution est utile dans le cas où par un zèle malentendu pour les voyageurs, le chef de gare aurait envoyé une machine sur la voie d'arrivée pour remorquer les wagons laissés par l'accident.

En principe, jamais on ne doit opérer un mouvement opposé à la direction habituellement suivie sur une voie que sur un ordre exprès, écrit, et dont l'exécution est formellement ordonnée.

Toutes les fois qu'un mécanicien poussant un train veut ralentir sa vitesse en faisant usage du frein et qu'il a fermé son régulateur, il attend que toutes les chaînes soient tendues avant de baisser le frein; sans cela il courrait risque de briser les chaînes des wagons qui, d'abord rapprochés les uns des autres, s'en trouveraient trop subitement écartés par le ralentissement brusque de la machine.

Il arrive quelquefois qu'en arrivant près des gares et en faisant usage du frein, le rapprochement de la machine du premier wagon a pour effet de décrocher la chaîne; le mécanicien ne s'en aperçoit que lorsqu'il reprend de la vitesse croyant être toujours rattaché au train; dans ce moment il lui importe d'agir avec une excessive prudence; il règle sa vitesse de manière à être approché par le train assez à temps pour pouvoir encore l'arrêter avant son entrée dans la gare, mais ce rapprochement ne doit être fait que

presqu'insensiblement et toujours sans faire usage du frein ; si la machine était abordée trop vivement par le train, la secousse aurait pour résultat soit de casser le boulon d'attache du tender, soit de le jeter hors de la voie, soit de briser le tender, et dans ces deux derniers cas il pourrait en résulter une secousse aussi nuisible pour le train que désagréable pour les voyageurs.

§ III. Des accidens qui, sans rupture de pièces, obligent le mécanicien a suspendre la marche du convoi jusqu'a ce qu'une autre machine vienne le pousser.

Les accidens de ce genre les plus fréquens sont les arrêts du jeu des pompes ; ces arrêts sont le plus souvent causés par le défaut de marche des clapets ou par la rupture des conduits d'eau du tender, ou par l'introduction de corps étrangers dans les conduits d'eau. Quand l'alimentation ne peut plus avoir lieu, il faut jeter le feu, continuer à marcher tant qu'il reste assez de pression, tout en faisant les signaux nécessaires pour qu'une machine soit envoyée derrière le train.

Si on n'est pas éloigné de la station d'arrivée il vaut mieux détacher la machine du train et la conduire à la station pour renvoyer immédiatement une autre machine pour reprendre le train. Ce n'est que dans ce cas que l'on peut déroger au principe fondamental de la police des chemins de fer de faire revenir la machine sur les voies dans une direction contraire à la circulation à laquelle elles sont affectées.

L'arrêt du train peut avoir lieu aussi par la perte du boulon de jonction des colliers d'excentrique, ou du boulon des colliers de conduite des excentriques des machines de Tayleur ; dans ce cas il faut débrayer la barre d'excentrique des tiroirs que conduisait l'excentrique dont le collier ne fonctionne plus et faire marcher ce tiroir par la manette à la main. Cette marche à la main est facile à comprendre puisqu'il ne s'agit que de faire subir à la manette du tiroir délié un mouvement contraire à celui de l'autre manette, mais elle est pénible. La vitesse du train dans ce cas est d'ailleurs toujours très faible.

Dans les machines où la manœuvre à la main des tiroirs est impossible, la perte d'un boulon du collier d'excentrique a pour effet d'arrêter la machine et on n'a pas la ressource de continuer la marche à la main; il faut alors démonter la coquille de la tige du tiroir, la placer au point où les lumières d'introduction sont toutes deux couvertes et marcher avec un seul cylindre.

Si on ne prenait pas la précaution de fermer les lumières d'introduction, sur quatre cylindrées nécessaires pour une révolution des roues il y en aurait une contraire à la marche, une inutile et une équilibrée, il en resterait une seule utile. Cela ne suffirait pas pour conserver la marche, même à une faible vitesse.

Le décalage des roues est aussi une cause d'arrêt du convoi; on s'en apercoit aux vives étincelles que provoque leur frottement contre les pièces sur lesquelles elles viennent porter en se déplaçant.

Dans les trois cas qui précèdent il faut faire les signaux nécessaires pour qu'une machine vienne pousser le convoi.

§ IV. Des accidens qui obligent a suspendre complétement la marche du convoi par suite de rupture de pièces.

Les couvercles des stuffing-boxes des tiges des tiroirs sont souvent à vis et sans moyen d'arrêt. Sous l'influence des mouvemens de la tige la garniture d'étoupes céde à la compression, le couvercle du stuffing-box prend de la mobilité et sort. Il est alors frappé par la coquille de la tige qui le brise, et fausse les leviers de conduite de la distribution; il faut alors prendre pour la marche à un seul cylindre les dispositions que nous avons indiquées plus haut.

Le même accident arrive aussi pour les stuffing-boxes des pistons; pour éviter cette rupture, toutes les fois qu'il n'y a pas de ressort à cliquet pour empêcher le couvercle du stuffing-box de tourner, il faut avoir soin d'en serrer les écrous à chaque arrêt.

Les vis qui fixent le couvercle du piston sont sujettes à sortir de leur taraudage. Elles frappent alors contre les fonds des cylin-

dres et produisent souvent la rupture des pistons ou des fonds du cylindre. Il faut donc suspendre la marche aussitôt qu'on s'en aperçoit.

Les clés des bielles sont sujettes à sortir quand leurs vis de pression et les clavettes d'écartement de leurs extrémités ne sont pas suffisamment serrées. Alors la bielle quitte la manivelle et cause de graves accidens ; le piston livré à lui-même va frapper alternativement avec une excessive violence contre les fonds et le couvercle du cylindre, parceque le tiroir continue à introduire alternativement la vapeur des deux côtés comme dans la marche ordinaire. Dans plusieurs machines en service, des cylindres, leurs fonds, leurs couvercles et les pistons ont été brisés par des accidens de ce genre; nous avons fait remarquer qu'ils étaient impossibles avec les bielles de Sharp et Roberts.

Pour éviter les suites de cet accident, il faut, aussitôt que l'on reconnaît que la bielle est tombée, fermer la lumière d'introduction de vapeur du cylindre à l'aide de la manette qui en conduit les tiroirs; dans les machines sans manettes, il faut arrêter immédiatement, dénouer la tige des tiroirs et la mettre au point où les lumières sont couvertes.

On continue ensuite la marche à un seul cylindre, après avoir rattaché ou démonté la bielle ; la gravité et la fréquence de cet accident doivent engager le mécanicien à porter une attention particulière aux clés des bielles.

La flexion ou la rupture des ressorts sont des accidens extrêmement rares. Quand un mécanicien craint la flexion des ressorts et qu'il sait qu'une des feuilles en est brisée, il ralentit la vitesse partout où la voie est mauvaise. La rupture d'un tube de la chaudière est encore une cause immédiate d'arrêt puisqu'il en résulte l'extinction instantanée du feu.

La rupture de l'essieu d'un wagon est également un accident très rare. On en voit infiniment peu d'exemples. Il est probable que s'il avait lieu, la plaque de garde et l'extrémité brisée de l'essieu s'enfonçant en terre arrêteraient le train. Il n'est pas supposable qu'un wagon puisse être suspendu sur l'essieu qui lui

resterait et par les deux points d'attache aux wagons qui le précèdent et le suivent; mais, si cela avait lieu, il faudrait que le mécanicien, voyant un wagon penché, s'arrêtât avant le passage du convoi dans un travail d'art, ou avant de rencontrer un train dont les wagons pourraient toucher l'angle de celui dont l'essieu serait brisé : le wagon dont l'essieu est brisé doit être placé par l'extrémité de son cadre sur le wagon qui le suit; l'essieu et les roues doivent être ou mis de côté de la voie ou chargés sur un wagon.

La rupture de l'essieu droit de l'avant d'une machine à six roues est un accident qui demande dans le mécanicien non pas de la hardiesse, car il n'y a aucun danger à courir, mais du sang-froid et de l'activité. Il doit à l'instant qu'il en est averti par l'abaissement de l'avant de sa machine, par le bruit causé et par les étincelles résultant du frottement des roues contre les pièces de la machine, fermer le régulateur et agir sur le frein; s'il est à une grande vitesse, il faut qu'il renverse la vapeur, afin d'arrêter son train le plus tôt possible; il jette ensuite le feu et appelle du secours en rendant compte de l'accident qui lui est arrivé.

Dans les machines à quatre roues la rupture de l'essieu droit entraîne la chute de la machine sur l'avant; il n'y a dans cet accident autre chose à faire pour le mécanicien que de se tenir à l'abri du rapprochement entre le tender et la machine. Il est bon de dire que lorsque les essieux droits sont faits dans des proportions convenables, il n'y a pas d'exemple de leur rupture. La rupture des essieux coudés des machines à quatre roues et à six roues a pour résultat d'arrêter les machines subitement, mais sans choc, parceque les essieux ne se rompent ordinairement que dans les coudes et restent alors soutenus dans les coussinets des grandes traverses et des châssis. Il faut, dans ce cas, fermer immédiatement le régulateur, agir sur le frein, jeter le feu, et ne pas se tenir exposé, dans le cas où la machine dérayerait, à être pris entre la machine et le tender.

La casse du boulon d'attelage du tender à la machine peut encore avoir pour résultat l'arrêt du convoi; il faut alors fermer

le régulateur, renverser la distribution, baisser le frein et jeter le feu, puis attendre du secours.

Tous les accidens dont nous venons de parler sont tellement rares, qu'il est des chemins de fer où ils ne se sont jamais présentés.

En général, les proportions des pièces des machines locomotives sont telles que les principales ne travaillent pas au dixième de la force qu'elles pourraient supporter et transmettre; c'est ce qui explique l'absence presque absolue d'accidens.

5° Des accidens produits par un concours de circonstances rares et imprévues.

Les accidens que nous allons énumérer doivent, comme une grande partie des précédens, être attribués à la négligence et à l'incurie ou à l'ignorance.

Le dérayage aux aiguilles dépend le plus souvent des aiguilleurs comme le dérayage dans les croisemens dits anglais dépend souvent du peu de ménagement avec lequel les conducteurs les franchissent.

Le dérayage par suite du mauvais état de la voie peut le plus souvent être attribué à la négligence des cantonniers ou de la police du chemin. C'est un accident dont il n'y a pas eu d'exemple au chemin de fer de Saint-Germain, mais assez fréquens sur les chemins belges dont la pose est loin de présenter le même degré de stabilité.

Lorsqu'un mécanicien pousse devant lui un convoi et qu'arrivé à la gare il veut l'arrêter, il doit bien se garder de faire agir son frein avant d'avoir laissé tendre les chaînes; sans cela les chaînes peuvent casser par le choc subit, et les wagons partant abandonnés à eux-mêmes et arrivant dans la gare subissent, quand ils n'y sont pas arrêtés par les ouvriers stationnaires, un choc désagréable pour les voyageurs.

La chute d'une machine dehors d'une plate-forme doit être rangée dans la catégorie des accidens qui ne peuvent être attribués qu'à la négligence ou à l'ignorance du conducteur.

Un mécanicien parti après un train et qui ne sait pas modérer assez sa vitesse pour ne le pas heurter et ceux dont les machines ou les convois se rencontrent daus les croisemens à l'entrée des gares, sont infiniment coupables sous toute espèce de rapports.

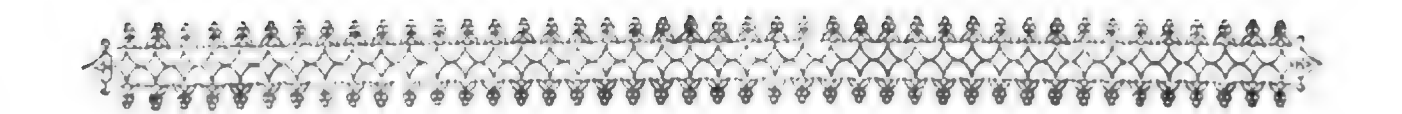
Nous ne placerons pas dans la catégorie des accidens la rencontre par les trains de promeneurs ou de bestiaux sur la voie : c'est un défaut de police.

Nons ne parlerons pas non plus du choc d'un train arrêté dans une gare intermédiaire, par un mécanicien qui ne l'a pas aperçu, ni de la rencontre de deux trains. Ces accidens sont radicalement impossibles à moins de circonstances rares et malheureuses. C'est par exemple, lorsqu'une grande affluence de monde mise après le repas dans un vif état d'excitation, et encouragée par le sentiment de profonde jalousie qui existe généralement dans notre pays contre les grandes entreprises, se livre à des excès, se répand sur la voie et cache ou éteint les signaux, insulte et maltraite les employés, jette la confusion dans le service, profère, comme nous l'avons souvent entendu, des menaces de destruction et place ainsi une compagnie entre l'incendie et le pillage de ses établissemens et la nécessité d'établir le service à quelques conditions que ce soit. Pour prévenir de pareils désordres il faudrait avilir la population par la présence continuelle des gendarmes et des sergens de ville, ou bien il faudrait que les gens sensés prissent les premiers l'habitude de respecter et de protéger les établissemens utiles. Leur influence serait le seul remède moral qu'une grande entreprise pût accepter ; il serait en peu de temps le seul efficace.

On trouvera dans les notes suivantes des tableaux assez nombreux dans lesquels sont dénommées seize machines locomotives de types différens, des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite).

Ces seize machines correspondent aux quarante neuf machines qui composent le matériel de ces deux compagnies ainsi que l'indique le tableau suivant, ou elles sont placées dans l'ordre de leur puissance de vaporisation.

	NUMÉROS D'ORDRES INDIQUÉS DANS LES TABLEAUX POUR LES DIFFÉRENS TYPES DE MACHINES.	NOMS des CONSTRUCTEURS.	NOMBRE DES MACHINES.
CHEMIN DE FER DE SAINT-GERMAIN.	1	Jackson	2
	2	Bury.	4
	3	Tayleur	6
	4	Haigh Foundry . .	4
CHEMIN DE FER DE VERSAILLES (RIVE DROITE).	5	Hawthorn	2
	6	Stephenson	1
	7	Sharp et Roberts. .	2
	8	Stehelin et huber.	2
	9	Cavé.	2
	10	Rothwel	6
	11	Schneider frères. .	6
	12	Stehelin et Huber .	2
	13	Stephenson	2
	14	Schneider frères. .	1
	15	Jackson . . . . , .	1
	16	Sharp et Roberts. .	6
			49



NOTES ET TABLEAUX.

NOTE PREMIÈRE.

DE LA GÉNÉRATION DE LA VAPEUR ET DE SON EMPLOI.

Nous donnons ici sur la vapeur, sa production et son emploi, des notions théoriques applicables dans la pratique, pour ceux des conducteurs auxquels ce guide est destiné qui ne les posséderaient pas.

1. Pression atmosphérique. — L'atmosphère est la masse d'air qui nous environne de tous côtés sur une épaisseur de 10 lieues environ. L'air est pesant aussi bien que tous les corps de la nature et transmet sa pression également dans tous les sens. Sa pesanteur est démontrée directement par la résistance qu'il oppose au mouvement et par celui qu'il peut communiquer.

La pesanteur de l'atmosphère a été déterminée de la manière suivante : Qu'on prenne un tube de verre gradué sur une hauteur suffisante et fermé d'un côté. Qu'on le remplisse de mercure et qu'on le renverse ensuite verticalement sur une cuve de même liquide. On remarque que quelle que soit la hauteur du tube, quelles que soient ses dimensions et sa forme, le mercure reste toujours sensiblement à une hauteur de 0,76 sans jamais s'élever au-delà.

Cette disposition constitue le baromètre qui sert à mesurer les pressions atmosphériques variant suivant les localités, et l'état hygrométrique de l'air. Le vide parfait existe à la partie supérieure et l'on peut s'en assurer en inclinant le tube. En effet dans ce cas la hauteur du tube au-dessus du niveau de la cuve étant diminuée, le mercure monte dans la chambre barométrique et remplit le vide jusqu'à ce qu'il soit arrivé à 0,76; et si on l'incline davantage, le mercure finira par monter jusqu'en haut et remplira complètement l'espace qui par conséquent était vide.

Si au lieu de mercure on prenait de l'eau dont la pesanteur spécifique et le poids sous le même volume sont beaucoup moindres, au lieu de 0,76 on aurait $10^{m},336$.

Par conséquent une colonne de mercure de 0,76 et une d'eau de $10^{m},336$ font équilibre à la pression atmosphérique.

Une propriété importante des corps liquides et gazeux est de transmettre leur pression également dans tous les sens. Ainsi, en plaçant verticalement

un tube cylindrique d'un centimètre carré de base plein de mercure sur un bain de même liquide, le poids de la colonne de mercure sera parfaitement égal au poids de l'air sur la même étendue de la surface du bain. Pour avoir la *pression atmosphérique* ou le poids de l'atmosphère sur un centimètre carré il suffira de peser la colonne de mercure ou d'eau et l'on trouvera de cette manière que la pression atmosphérique est de 1 k., 03 36 par centimètre carré.

Il est évident que si au lieu d'un centimètre carré on avait une base quelconque, il suffirait de peser la colonne et de diviser le poids par la surface exprimée en centimètres carrés.

On peut, d'ailleurs, calculer directement la pression atmosphérique sans peser la colonne d'eau ou de mercure. En effet, 10^{m},336 de hauteur sur un centimètre carré de base ou sur 0$^{m. q.}$,0001 donne un cube de 0$^{m. c.}$,0010336 ou en décimètres cubes 1,0336. Or un décimètre cube d'eau pèse 1 k. On a donc pour pression, comme nous l'avons dit, 1 k., 0336 Il va sans dire que l'eau dont on parle ici est à son maximum de densité.

Dans la pratique on adopte 1 k. 03 et même 1 k. pour la pression atmosphérique par centimètre carré et l'on appelle cette unité une *atmosphère*.

Dans les machines locomotives, la pression est généralement de 4 atm. effectives, c'est-à-dire 5 atmosphères réelles en comprenant celle qui fait équilibre à la pression de l'air et qui n'agit ni comme pression destructive sur les parois ni comme puissance motrice sur le piston. La pression sur chaque centimètre carré de tout le système est donc de 4 k. 12 en supposant que la machine marche à 4 atmosphères.

Chaleur.—La chaleur est un fluide impondérable qui par la qualité qu'il possède de s'introduire entre toutes les molécules des corps les désagrège et les fait passer sous les trois états solide, liquide et gazeux. Le premier phénomène qu'on remarque sur les corps soumis à l'influence d'une source de chaleur c'est la dilatation dans tous les sens.

2. Dilatation. thermomètre. — La dilatation est la propriété qu'ont les corps d'augmenter de volume en raison de la température qui s'introduit entre les molécules. Cet accroissement de volume a lieu suivant les trois dimensions d'épaisseur, de largeur, et de longueur.

Quand dans les machines on fait subir aux matériaux des variations brusques de température, les phénomènes de dilatation sont très nuisibles, surtout quand ils s'exercent sur des corps de différente nature en contact et formant joint.

La connaissance des dilatations inégales est trop importante pour que nous ne donnions pas le tableau des dilatations des principaux métaux em-

ployés dans les machines locomotives. On reconnaitra combien ces dilatations sont variables suivant les différens corps.

L'acier non trempé se dilate de 0 à 100° de.	1/927 de son volume.
Le fer doux forgé.	1/819
Le fer rond passé à la filière.	1/812
L'acier trempé.	1/807
Le cuivre rouge.	1/582
Le laiton.	1/533
Le plomb.	1/351

Cette dilatation se fait également sentir à l'eau de la chaudière, dont la température s'élève peu à peu en raison de la chaleur qui passe au travers des tubes conducteurs de la fumée, et la dilatation de 0 à 100° est de 1/22 de son volume.

La puissance de dilatation d'un corps est égale à la résistance de compression dont il est capable, de même que la puissance de contraction est égale à la résistance de traction qu'ils peuvent opposer.

Pour constater la dilatation des liquides on les renferme dans un tube de verre gradué et l'on reconnait que le liquide augmente de hauteur dans le tube suivant le degré de température.

On s'est servi de cette propriété pour mesurer les températures à l'aide d'un instrument qu'on nomme *thermomètre*. C'est un tube de verre fermé d'un côté et terminé de l'autre par une boule. Ce tube, gradué sur une certaine hauteur, contient un liquide coloré qui est de l'alcool ou du mercure et que la chaleur fait monter dans le tube aussi bien que le froid le fait descendre. Pour introduire le liquide dans le tube qui est capillaire on le chauffe sur toute sa longueur, l'air qu'il contenait se dilate et s'échappe par l'extrémité encore ouverte, puis on plonge cette extrémité dans le liquide à introduire. Celui-ci monte dans le tube en vertu de la pression atmosphérique; on dilate de nouveau la quantité d'air qui reste, pour approcher autant que possible du vide, et l'on bouche l'extrémité. — Pour graduer le tube on part de deux températures fixes, 0° qui est la température de la glace fondante et 100° qui est la température de l'ébullition de l'eau distillée sous la pression de 0^{m},76. On marque les deux points extrêmes et l'on divise en 100° l'espace compris entre ces deux points et on marque des divisions égales en dessous de 0°.

Le thermomètre dont nous venons de parler, à division centésimale, s'appelle thermomètre centigrade. Quelquefois on partage la distance des deux points extrêmes en un nombre différent de degrés. — Ainsi dans le thermomètre de Réaumur, au lieu de marquer 100° au point de l'ébullition de l'eau, on marque 80°, et 212° dans celui de Fahrenheit dont on se sert en

Angleterre. Dans les deux premiers la division correspondante à la glace fondante est marquée o, dans celui de Fahrenheit elle est marquée 32°. En sorte que la distance entre les deux points extrêmes est divisée en 180 degrés.

Pour transformer des degrés centigrades en degrés Réaumur on remarque que chaque degré centigrade est 1/100e et chaque degré Réaumur 1/80 : donc un degré centigrade est à un degré réaumur comme 80 est à 100; donc un degré centigrade est égal à un degré Réaumur multiplié par 80/100e ou 4/5 et réciproquement un degré Réaumur est égal à un degré centigrade multiplié par 100/80e ou 5/4. De même pour transformer des degrés centigrades en degrés Fahrenheit il faut les multiplier par 180/100 ou 9/5 et ajouter 32, et l'on fera les opérations inverses pour transformer les degrés Fahrenheit en degrés centigrades.

On a reconnu, par des expériences très minutieuses et en faisant varier graduellement la température des gaz et des vapeurs, que :

1° La dilatation des gaz et des vapeurs est uniforme de o à 100°.

2° Elle est pour chaque degré la 267e partie ou les 0,00375 de son volume à o, c'est-à-dire qu'un gaz ou une vapeur dont le volume était 1 à o deviendra 1,375 à 100°.

3. Des capacités calorifiques. — Les corps sous le même poids exigent des quantités de chaleur différentes pour s'élever d'un même nombre de degrés. Ces quantités relatives de chaleur absorbées sous un même poids par les corps, pour élever leur température d'un même nombre de degrés, s'appellent *chaleurs spécifiques* ou *capacités calorifiques*. On prend la capacité calorifique de l'eau pour terme de comparaison de ces quantités et on la prend pour unité.

On appelle calorie la quantité de chaleur qu'il faut pour élever d'un degré centigrade un kilogr. d'eau.

En rapportant à cette unité les quantités de chaleur absorbées par les différens corps, on a trouvé que pour amener les corps à la même température il fallait les quantités suivantes de chaleur :

Eau.	1
Plomb.	0,0293
Fer battu.	0,1218
Cuivre.	0,1013

Nous ne donnons ici que les capacités calorifiques des corps qui entrent dans les machines locomotives : ces chiffres expriment que la même quantité de chaleur élèvera d'un même nombre de degrés un poids de plomb et un poids d'eau qui seront dans la proportion de 1 à 0,0293 ; ou réciproquement qu'un même poids de plomb et d'eau seront élevés par une même quantité

de chaleur, l'un de 100°, l'autre de 2°,93. — A l'aide de ces chiffres on peut déterminer le nombre de calories ou d'unités de chaleur que contient un corps dont on connaît le degré de température et la capacité calorifique. Ainsi nous dirons que 15 kilogr. de fer battu, à 50°, contiennent ($50\times15\times0,1218$) unités de chaleur : en effet si c'était de l'eau nous aurions $15\times50=750$ unités de chaleur; mais la capacité calorifique du fer ou la quantité de chaleur qu'il exige n'est que les 1218/10000 de celle de l'eau : donc le nombre de calories sera les 1218/10000 de 50×15 ou $50\times15\times0,1218=91,35$ unités de chaleur ou calories.

4. Évaporation et ébullition. — Les liquides émettent de la vapeur à toutes les températures. Cette vapeur n'est visible que par un commencement de condensation. Plus on élève la température d'un liquide plus le volume de vapeur qu'il émet augmente.

Quand les vapeurs ont acquis une assez grande force élastique, elles se forment à l'intérieur, tendent à soulever la masse de l'eau, et s'élèvent en globules qui viennent crever à la surface ; c'est ce qu'on nomme l'ébullition.

La rapidité de l'ébullition ou la quantité de vapeur qui se forme par suite d'un foyer incandescent dépend : 1° de l'activité du foyer ; 2° de la nature et de l'épaisseur des parois de la chaudière ; 3° de l'étendue de la surface liquide qui reçoit l'action du feu ; 4° du tirage qui accélère l'alimentation d'air du foyer ; 5° du soin que l'on apporte à ne pas perdre le calorique par le refroidissement dû au rayonnement sur les corps environnans, et à l'introduction de l'air froid ; 6° de la disposition des carneaux de fumée ; 7° enfin de la nature des combustibles.

Les causes qui peuvent faire varier le point d'ébullition d'un même liquide, sont : 1° la pression qui s'exerce à la surface, 2° la profondeur de sa masse ; 3° les substances qu'il peut tenir en dissolution ; 4° la cohésion du liquide.

Il est facile de comprendre pourquoi l'ébullition dépend de la pression ; en effet, d'après l'explication que nous avons déjà donnée, il faut pour qu'il y ait ébullition que les vapeurs formées aient une force élastique supérieure à celle qui s'exerce sur la surface du liquide : en sorte que si l'on connaît la tension de la vapeur on connaîtra le point d'ébullition du liquide sous la pression donnée, puisqu'il sera obtenu par le degré de température nécessaire pour obtenir une tension de vapeur capable de vaincre la pression sur la surface. On pourra donc faire bouillir un liquide sous une pression donnée en augmentant sa température, et réciproquement on pourra faire bouillir un liquide à une température donnée puisqu'il suffira toujours de diminuer la pression au point qu'elle soit moindre que la tension du liquide pour cette température.

L'augmentation de profondeur dont nous avons parlé en second lieu n'agit que comme augmentation de pression, et cet effet est insensible quand la colonne manométrique soulevée par la vapeur est considérable.

Les substances que l'eau peut tenir en dissolution altèrent aussi son point d'ébullition, ainsi l'eau chargée de sel bout à une température plus élevée que l'eau ordinaire. Nous n'insisterons pas sur ce point parce que cela ne se rencontre pour ainsi dire jamais dans les machines locomotives. Enfin, la cohésion du liquide retarde le point d'ébullition à cause de la difficulté qu'éprouvent les bulles de vapeur à passer au travers d'un liquide plus dense. En sorte que quand un liquide a une certaine cohésion ou est mélangé à un autre possédant cette propriété, il faut que la tension de la vapeur qui se forme soit capable de vaincre, non-seulement la pression qui s'exerce sur la surface du liquide, mais encore la force de cohésion dont sont douées les molécules. Ainsi dans les chaudières de machines locomotives, on remarque que la vapeur se forme plus difficilement quand la machine sort des ateliers et que l'eau tient en suspension de l'huile et de la graisse.

D'après ce qui précède on comprend quelle relation existe entre la pression et la température, elle est telle que l'une ne peut pas s'abaisser sans l'autre. Ainsi quand il y a un refroidissement dans la vapeur, il y a une condensation partielle, diminution de volume, et abaissement de pression; et réciproquement, si la pression diminue, la vapeur ayant besoin d'une tension moindre sera également à une température moindre.

Le tableau suivant indique les pressions et les températures correspondantes déterminées par expérience.

TABLE des températures et des volumes de la vapeur à diverses pressions.

PRESSIONS DE LA VAPEUR A SA NAISSANCE. En atmosphères.	En mètres de mercure.	En kilogrammes par mètre carré.	TEMPÉRATURES en degrés centigrades correspondantes aux diverses pressions.	VOLUME en litres d'un kilogramme de vapeur à la pression indiquée et à sa température réelle.	POIDS DU MÈTRE CUBE DE VAPEUR.
10.00	7.60	103360	182.00	207.98	4.808
9.00	6.84	93020	177.40	228.72	4.373
8.00	6.08	82680	172.13	254.27	3.934
7.00	5.32	72350	166.42	286.70	3.488
6.75	5.13	69770	164.84	296.35	3.374
6.50	4.94	67190	163.25	306.62	3.261
6.25	4.75	64610	161.54	317.58	3.149
6.00	4.56	62010	160.00	329.65	3.033
5.75	4.37	59430	158.30	342.76	2.917
5.50	4.18	56850	156.70	356.86	2.802
5.25	3.99	53270	155.00	372.32	2.690
5.00	3.80	51680	153.30	389.38	2.568
4.75	3.61	49100	151.15	406.76	2.457
4.50	3.42	46520	149.15	428.36	2.334
4.25	3.23	43940	146.76	450.96	2.217
4.00	3.04	41340	144.95	477.05	2.096
3.75	2.85	38760	142.70	506.15	1.972
3.50	2.66	36180	140.35	539.10	1.855
3.25	2.47	33600	137.70	576.83	1.734
3.00	2.28	31000	135.00	620.74	1.611
2.75	2.09	28420	132.15	672.36	1.487
2.50	1.90	25840	128.85	733.45	1.363
2.25	1.71	23260	125.50	808.00	1.238
2.00	1.52	20670	121.55	899.91	1.111
1.75	1.33	18090	117.10	1016.66	0.984
1.50	1.14	15510	112.40	1171.59	0.854
1.25	0.95	12930	106.60	1384.36	0 722
1.00	0.76	10340	100.00	1700.00	0.588
0.75	0.57	7760	92.00	2217.20	0.451
0.50	0.38	5180	82.00	3229.36	0.310
0.25	0.19	2600	66.00	6198.38	0.161

5. **Chaleur latente.** — On voit d'après ce tableau et l'on sait d'ailleurs qu'à 100° et à la pression atmosphérique l'eau émet constamment des vapeurs, mais que sa température ne s'élève pas au-delà de cette limite ; toute la chaleur du foyer est donc employée à engendrer de la vapeur sans élever ni sa tempéra-

ture ni celle du liquide. On a donné à ce calorique absorbé le nom de chaleur latente. — Le même effet se remarque dans la liquéfaction de la glace. Ainsi qu'on prenne de la glace à 0° et qu'on ajoute une quantité convenable d'eau à 15°, qu'on mélange le tout; au bout d'un certain temps le mélange sera à 0° et y restera tant que la glace ne sera pas complètement fondue. La température de 15° de l'eau a donc été tout entière employée à liquéfier la glace sans augmenter la température du mélange. C'est donc bien réellement une chaleur latente. Si par un abaissement de température on arrive à congeler l'eau de nouveau, le mélange émettra la même quantité de chaleur qu'il avait absorbée pour fondre la glace.

On peut déterminer la quantité de chaleur latente de chaque corps de la manière suivante. On connaît le nombre de calories que contient un corps à un certain degré de température : il suffira donc de faire passer de la vapeur dans un récipient contenant de l'eau à une température assez faible pour qu'il ne se forme pas de vapeur sensiblement et de telle sorte qu'il n'y ait pas de déperdition de chaleur. On détermine le poids et la température de l'eau, ainsi que le poids et la température du métal, s'il a absorbé de la chaleur, et l'on a de cette manière le nombre d'unités de chaleur que contenait la vapeur: or, comme on avait pris sa température, on aura la quantité de chaleur latente absorbée.

On a trouvé de cette manière que la quantité de chaleur nécessaire à la vaporisation d'un kilogramme d'eau à 100° est de 550 unités de chaleur, en sorte que pour vaporiser à 100° un poids donné à 0° il faut dépenser pour chaque kilogramme 650 unités de chaleur.

6. Vapeurs dans le vide; loi de Mariotte, etc. — L'eau dans le vide s'évapore instantanément; rien en effet ne favorise alors la cohésion des molécules, qui se désagrègent et se réduisent en vapeur. L'évaporation ne cesse que lorsque l'espace est saturé; ce dernier est d'ailleurs complètement rempli par le volume de vapeur, quelque petit qu'il soit, et est pressé également par elle dans tous les sens.

La force de compression n'est pas indéfinie comme la force d'expansion : en effet, quand on dépasse le maximum de tension de la vapeur, elle ne peut y résister et se condense aussitôt. Les vapeurs sont donc susceptibles d'un maximum de tension qu'elles ne peuvent dépasser.

La tension de la vapeur est maximum quand celle-ci est à la température du liquide qui l'a produite. Quand la température du liquide diminue, une partie de la vapeur se condense et le maximum de tension est changé. Quand la vapeur n'a pas atteint ce maximum et qu'on la fait passer par différens degrés de température, on reconnaît que les tensions et les volumes

suivent certaines lois de relation avec les températures et augmentent avec celles-ci. On reconnaît, en outre, qu'à égalité de température, les volumes sont en raison inverse des pressions : telle est la loi de Mariotte. La démonstration de cette loi est trop simple pour que nous ne la donnions pas ici.

Qu'on prenne un tube courbé en siphon, fermé à une extrémité et communiquant de l'autre avec l'atmosphère ; on sépare une partie de l'air que contient le siphon, par un indicateur de mercure : on marque le point où s'arrête cet indicateur ; on a donc le volume occupé par l'air sous la pression de l'atmosphère, plus celle de la colonne de mercure : si maintenant on ajoute du mercure jusqu'à ce que la différence du niveau du liquide dans les deux branches fasse équilibre à la pression atmosphérique, c'est-à-dire, soit de 0,76, la masse d'air sera pressée avec une force de deux atmosphères. On observe dans ce cas que le volume de l'air a diminué de moitié; et quelle que soit la pression qu'on leur fait subir on reconnaît (toujours dans l'hypothèse que les températures ne changent pas) que le volume se réduit de moitié si la pression est double, du quart si la pression est quadruple, etc. — En sorte qu'on est bien réellement fondé à croire que les volumes sont en raison inverse des pressions.

De plus, on a reconnu que cette loi est vraie non-seulement pour un gaz quelconque; mais encore pour une vapeur quelconque, pour la vapeur d'eau par exemple.

Nous avons dit ailleurs que les volumes de la vapeur d'eau augmentent de 0,00375 pour chaque degré du thermomètre centigrade, en sorte qu'un volume V de vapeur à 0° devient à 100°, $V \times 1{,}375$; et si l'on prend ce même volume à 0° et qu'on l'élève à la température t, il deviendra $V \times (1 + 0{,}00375\, t)$ jusqu'à une certaine limite de température que l'on dépasse rarement dans les machines locomotives.

Cela posé, l'on peut avoir un volume V' à t'° ; connaissant le volume V à t°. En effet, soit v le volume à 0° ; d'après ce qui précède on a :

$$V = v\,(1 + 0{,}00375\, t)\ , V' = v\,(1 + 0{,}00375\, t') \text{ d'où } \frac{V'}{V} = \frac{1 + 0{,}00375\, t'}{1 + 0{,}00375\, t} \text{ ou :}$$

$$V' = V \times \frac{1 + 0{,}00375\, t'}{1 + 0{,}00375\, t}$$

De même, connaissant le volume V sous la pression p ; si l'on veut avoir V' à la pression p', on aura :

$$V : V' :: p' : p. \text{ D'où } V' = \frac{Vp}{p'}$$

On pourra donc déterminer le volume V', à une pression p' et à une température t' connues, en supposant qu'on connaisse V à la pression p, et à la température t; et on aura la formule suivante pour cette détermination :

$$V' = \frac{Vp}{p'} \left(\frac{1+0,00375\ t'.}{1+0,00375\ t.} \right)$$

On comprend que, les densités étant entre elles sous la même pression, on aura en raison inverse des volumes la densité de la vapeur, connaissant sa température et sa pression, et l'on pourra comparer les densités entre elles, comme on a comparé les volumes, et l'on aura ainsi la formule suivante en appelant D et D' les densités des vapeurs que l'on compare :

$$D' = D \frac{p'}{p} \left(\frac{1+0,00375\ t.}{1+0,00375\ t'} \right)$$

Il est évident qu'avec ces formules, connaissant réciproquement le volume et la température d'une vapeur, on pourra déterminer sa pression, comme aussi on pourra trouver sa température connaissant sa pression et son volume. On pourra aussi déterminer le poids d'une vapeur quelconque, connaissant sa température et sa pression; car on calculera d'abord son volume et sa densité, et l'on sait que le poids est égal au volume multiplié par la densité.

Rappelons, avant de terminer, que ces considérations ne s'appliquent qu'au cas où les vapeurs ne sont pas arrivées à leur maximum de tension, et qu'elles ne saturent pas l'espace.

7. Pression de la vapeur; manomètre. — Les volumes considérables que tend à prendre la vapeur aux diverses températures démontrent d'une manière suffisante quelle force expansive elle possède quand on la produit en vases clos. Cette force va sans cesse en augmentant, si on ne laisse pas écouler le volume produit : et cette pression finirait par dépasser la limite de résistance des récipiens qui la maintiennent, si l'on n'avait le soin de munir ces récipiens d'appareils, nommés *Soupapes de sûreté*, dont nous parlerons dans une note suivante. Ces appareils s'opposent à l'accroissement de la pression au delà de certaines limites, en laissant écouler toute la quantité de vapeur fournie au delà de celle qui constitue la pression à laquelle on veut marcher. — Ils servent encore à donner la mesure de la pression.

Dans les machines fixes on estime la pression à l'aide d'un appareil qu'on appelle *Manomètre*, et qui est fondé sur le même principe que le baromètre ordinaire.

C'est un tube de verre courbé en siphon, contenant du mercure, et qui reçoit d'un côté la pression de la vapeur. L'extrémité opposée est ouverte à l'atmosphère et reçoit sa pression, ou bien elle est fermée et contient de l'air qui se comprime par la pression de la vapeur.

Pour graduer le manomètre à air libre on commence par abandonner le mercure à lui même, en lui imprimant de part et d'autre une pression égale à celle de l'atmosphère; on marque les deux points où il s'arrête dans les deux tubes, puis on fait varier la pression d'un côté, soit à l'aide d'une chaudière à vapeur, soit autrement: quand la différence de niveau est de 0,76, cela indique, d'après notre définition, que la pression de l'autre côté est égale à une atmosphère au-dessus de la pression atmosphérique; si donc on divise cet espace en dixièmes et en centièmes, cela donnera des dixièmes et des centièmes d'atmosphère, puisque les volumes de mercure croissent avec les pressions auxquelles ils doivent faire équilibre. Pour graduer l'instrument, on part des points que l'on a marqués sur les deux tubes lorsqu'il y avait équilibre dans les deux branches, et l'on marque en dessus et en dessous des degrés indiquant des dixièmes et des centièmes d'atmosphère, et l'on observe qu'au lieu de prendre la différence de niveau, il revient au même d'ajouter le nombre de degrés dont le mercure s'est déprimé dans l'une, à celui dont il s'est élevé dans l'autre branche du siphon, et pour pouvoir lire directement le degré de pression on gradue seulement la branche dans laquelle s'élève le mercure en demi-centièmes et en demi-dixièmes. Chaque degré représentera alors des centièmes et des dixièmes d'atmosphère. Quand on n'a à mesurer que des variations minimes de pression, on se dispense de faire cette division en s'arrangeant de manière à ce que les différences de niveau dans la première branche soient insensibles. Pour cela on ménage dans la première branche un grand volume de mercure présentant une grande surface et permettant au mercure de s'élever dans la seconde branche sans altérer sensiblement le niveau de cette masse.

Pour mesurer des pressions élevées, on augmente la hauteur du tube et on le fait en fer pour éviter la rupture. On se sert alors d'un flotteur reposant sur la surface supérieure du mercure et qui sert à marquer la pression à l'aide d'un indicateur qui s'applique sur une table graduée.

Le manomètre à air comprimé se gradue d'une manière analogue; on s'appuie sur le principe que les volumes des gaz sont en raison inverse des pressions sous la même température: ainsi, le volume étant 1 pour une atmosphère sera 1/2 pour deux atmosphères, 1/3 pour trois, 1/4 pour quatre, etc. Il suffira donc de diviser la hauteur d'air en deux, trois, quatre et dix parties égales, et l'on aura la mesure de toutes les pressions.

Il faut, pour que la division soit exacte, que le tube soit bien calibré cylindriquement.

Les deux manomètres que nous venons de décrire ne sont pas exacts au même degré. Le premier, à air libre, donne peu de causes d'erreur, excepté le cas où le flotteur pourrait ne pas être assez sensible, à cause des frottemens; mais il est toujours facile de le prévoir. — Avec le second, au contraire, il est difficile d'avoir un grand degré d'approximation, d'abord à cause des changemens de température de l'air contenu dans la partie supérieure; ensuite, et surtout, parceque pour les hautes pressions les degrés du manomètre sont tellement rapprochés qu'on les lit difficilement.

8. Écoulement de la vapeur, Vitesse. — Quand on donne une issue à la vapeur comprimée elle s'écoule dans l'air en vertu de la pression effective qui n'est autre que la pression absolue diminuée de la pression du récipient.

Pour calculer la vitesse d'écoulement, on remarque que les vapeurs se comportent dans leur mouvement comme les liquides Or ceux-ci ont une vitesse qui est due à une hauteur génératrice représentée par la hauteur du liquide au-dessus du tube d'écoulement; en appelant h cette hauteur, on a la vitesse ou la distance parcourue par seconde par la formule $V=\sqrt{2gh}$ dans laquelle V représente la vitesse $g=9,8088$. Cette formule est complètement applicable à la vitesse des vapeurs. On détermine la hauteur génératrice en remarquant que la pression par mètre carré de surface ou le poids de mercure qui fait équilibre à la pression de la vapeur s'exerçant sur un mètre carré sera égal au poids du mètre cube de la vapeur qui s'écoule multiplié par la hauteur génératrice de la vitesse, en sorte q.. en appelant P la pression par mètre carré, p le poids du mètre cube de vapeur qui s'écoule, h la hauteur génératrice de la vitesse, on aura $P=p\times h$. D'où $h=\frac{P}{p}$. Remplaçons h par sa valeur dans la formule qui donne la vitesse, on aura $V=\sqrt{2g\frac{P}{p}}$

Cette formule s'applique au cas de l'écoulement de la vapeur dans le vide: mais il arrive souvent, et c'est même le cas le plus général, que la vapeur s'écoule dans un milieu à une certaine pression, par exemple dans l'atmosphère; alors, au lieu de ne considérer que P, comme étant la pression génératrice, on retranche la pression P' du récipient, cette pression s'opposant avec toute son énergie à l'écoulement de la vapeur. Alors la formule devient $V=\sqrt{2g\frac{P-P'}{p}}$

Si nous appliquons le calcul à de la vapeur à la pression de 3 atm. 50 par exemple, s'écoulant dans l'atmosphère, nous aurons

$P-P'=25740^k$, $p=1^k,85$, $2g=19,62$. $V=\sqrt{19,62\frac{25740}{1.85}}=520$ —

On peut simplifier la formule en extrayant de suite la racine carrée de $2g$, et le faisant sortir du radical $V = 4{,}43 \sqrt{\frac{P-p}{p}}$

Nous avons déterminé de cette manière les vitesses suivantes, qui peuvent être utiles dans quelques calculs sur les machines locomotives, et nous avons supposé, dans la première table, que la vapeur s'écoule dans l'atmosphère.

TABLE des poids et des vitesses de la vapeur s'échappant dans l'atmosphère à diverses pressions.

Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.	Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.	Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.
5.00	2.568	562	1.60	0.900	368	1.09	0.630	170
4.75	2.457	554	1.50	0.854	343	1.08	0.626	161
4.50	2.334	549	1.45	0.830	331	1.07	0.622	151
4.25	2.217	546	1.40	0.800	318	1.06	0.619	140
4.00	2.096	537	1.35	0.778	302	1.05	0.610	129
3.75	1.972	530	1.30	0.150	285	1.04	0.607	116
3.50	1.855	520	1.25	0.722	265	1.03	0.601	101
3.25	1.734	512	1.22	0.705	252	1.02	0.598	83
3.00	1.611	502	1.20	0.693	242	1.01	0.595	58
2.75	1.487	488	1.18	0.681	232	1.005	0.590	41
2.50	1.363	472	1.16	0.670	220	1.00	0.588	0
2.25	1.238	451	1.14	0.658	213	»	»	»
2.00	1.111	427	1.12	0.647	194	»	»	»
1.75	0.984	394	1.10	0.636	178	»	»	»

Nous avons effectué des calculs analogues en faisant diverses hypothèses sur la pression de la vapeur qui s'écoule et sur celle du récipient, et nous avons fait le tableau suivant :

ÉCOULEMENT de la vapeur dans un milieu à une pression plus faible.

VAPEUR A 5 ATMOSPHÈRES absolues.			VAPEUR A 4 ATMOSPHÈRES absolues.			VAPEUR A 3 ATMOSPHÈRES absolues.		
Pression dans le récipient.	Pression effective en kilogram. par m. q.	Vitesse d'écoulement en mètres par 1''.	Pression dans le récipient.	Pression effective en kilogram. p. m. q.	Vitesse d'écoulement en mètres par 1''.	Pression dans le récipient.	Pression effective en kilogram. par m. q.	Vitesse d'écoulement en mètres par 1''.
4.95	517	63	3.95	517	69	2.95	517	79
4.90	1034	89	3.90	1034	97	2.90	1034	112
4.85	1550	108	3.85	1550	120	2.85	1550	137
4.80	2067	125	3.80	2067	139	2.80	2067	158
4.75	2584	140	3.75	2584	155	2.75	2584	178
4.65	3618	166	3.65	3618	184	2.65	3618	210
4.55	4651	188	3.55	4651	209	2.55	4651	238
4.50	5168	198	3.50	5168	220	2.50	5168	251
4.25	7752	242	3.25	7752	269	2.25	7752	307
4.00	10336	281	3.00	10336	311	2.00	10336	355
3.75	12920	314	2.75	12920	347	1.75	12920	396
3.50	15504	344	2.50	15504	380	1.50	15504	423
3.25	18088	371	2.25	18088	411	1.25	18088	469
3.00	20672	396	2.00	20672	439	»	»	»
2.75	23256	421	1.75	23256	466	»	»	»
2.50	25840	444	1.50	25840	491	»	»	»
2.25	28424	465	1.25	28424	515	»	»	»

Les tableaux précédens ne peuvent pas être considérés comme l'expression exacte des vitesses de vapeur suivant les différentes pressions. En effet il se passe dans les mouvemens de vapeur des phénomènes de contraction, de frottement et de condensation qui altèrent les résultats. De ces trois causes de diminution de vitesse il n'y a que la première sur laquelle on ait fait des expériences assez concluantes pour pouvoir en déduire des coefficiens de correction. On a trouvé que pour déterminer la vitesse d'écoulement par un orifice percé en mince paroi il faut multiplier la vitesse théorique par 0,65. Si l'écoulement se fait par un ajutage cylindrique, le coefficient est 0,85 ; et 0,95 si l'ajutage est conique.

On comprendra l'utilité de la seconde table en réfléchissant que dans les convois de voyageurs au chemin de fer de Saint-Germain, par exemple, le train est rarement assez lourd pour exiger que la vapeur passe dans les cylindres par le régulateur ouvert à pleine section, en sorte que, pour diminuer cet excès de pression, il est nécessaire de créer une grande vitesse afin que la vapeur se détende dans les conduits de vapeur et que sa pression soit diminuée. La vitesse d'écoulement est retardée dans le passage de la vapeur des lumières dans le cylindre qui contient toujours une petite quantité de vapeur au moment de l'introduction.

L'influence de la condensation est, pour ainsi dire, nulle dans les conduits et dans les cylindres, puisque, comme on le sait, ceux-ci sont contenus dans le milieu de la vapeur, et ceux-là à la partie inférieure de la boîte à fumée.

9. Du foyer de chaleur, du combustible. Les combustibles ne sont pas susceptibles de développer tous une égale quantité de chaleur; on appelle *puissance calorifique* des combustibles la quantité de chaleur qu'ils sont capables de développer. On a trouvé par expérience les chiffres suivans:

Nombre de calories développées par un kilogramme de

Coke	7,000
Houille	6,440
Charbon de bois	6,000
Bois séché à l'air	2,945
Tourbe	1,500

Dans les machines locomotives on emploie le coke: le charbon de bois était inadmissible en raison de son prix élevé; la houille pure, à cause de la fumée qui incommoderait les voyageurs; la tourbe, à cause du peu de chaleur qu'elle développe.

On a reconnu en pratique que les meilleurs foyers n'utilisent que 0,50 à 0,60 de la chaleur développée. En adoptant le premier coefficient, voyons combien un kilogramme de coke pourrait évaporer de kilogrammes d'eau. D'après ce que nous avons dit, un kilogramme d'eau exige pour se vaporiser 650 unités de chaleur; appelons p le poids de la vapeur produite par un kilogramme de coke exprimé en kilogrammes, $650 \times p$ sera le nombre de calories absorbées par elle: donc le nombre de kilogrammes de vapeur que pourra produire un kilogramme de coke sera $\frac{7000 \times 0{,}50}{650} = p$, en supposant que le meilleur foyer n'utilise que la

moitié de la chaleur développée par le combustible. On trouve ainsi $p = 5,38$. Comparons ce résultat avec la pratique :

Table de la consommation en coke sur quatre chemins de fer anglais.

DÉSIGNATION des chemins.	Quantité d'eau évaporée.	Consommation de coke.	Distance parcourue en kilomètres.	Quantité d'eau évaporée par kilog. de coke.	Quantité de coke consommé par kilomètre.	OBSERVATIONS.
	k	k.	kilom.	k		
De Liverpool à Manchester.	25723	4049	522	6.35	7.75	Expériences de M. Pambour.
Chemin de Birmingham . .	12795	1729	182	7.40	9.50	Expériences de M. Wood.
Grand' Jonction.	397936	71931	6540	5.53	10.99	id.
Great Western.	74553	10127	936	7.36	10.82	id. *

* Les machines étaient Harvey Combe et Bury's Engine, dont nous donnons, dans la note suivante, les principales dimensions.

On voit qu'ici le combustible est employé plus utilement qu'aux cinquante centièmes. Mais il y aurait une correction à faire, parce qu'on a supposé que toute l'eau qui était sortie du tender avait été réduite en vapeur, tandis qu'elle a pu s'échapper en partie à l'état liquide par les fuites, et à l'état de suspension et de mélange avec la vapeur par les cylindres.

10. Travail de la vapeur et son emploi.

On est convenu d'appeler travail, dans une machine, le produit de la force par la vitesse. Ainsi, dans un système quelconque de corps en mouvement dont toutes les parties sont animées de différentes vitesses, ce principe est applicable; et en supposant connue la force qu'il faudrait exercer pour arrêter une des pièces de la machine, et la vitesse ou le nombre de mètres parcourus par seconde de cette pièce, on désigne par le mot *travail* le produit de ces deux quantités.

L'unité dynamique qui sert à mesurer le travail dans les machines, est représentée par le produit de l'unité de poids (1 kilogramme), par l'unité de vitesse (1 mètre). Ce produit se nomme kilogrammètre.

Nous énoncerons simplement ici le principe du mouvement des machines qui est le suivant : toutes les fois que les vitesses et les résistances à vaincre dans une machine sont régulières, le travail moteur, produit par unité de temps, est égal au travail résistant. Le premier est dû aux forces exercées pour causer le mouvement, et le second à toutes les résistances à vaincre.

Ainsi, en tenant compte d'un côté de la force et de la vitesse sur le point presque toujours unique où agit la force motrice, et de l'autre de la force à vaincre, s'il fallait mettre séparément en mouvement toutes les pièces de la machine, en même temps que de la vitesse de chacun des points résistans, on aura en premier lieu un produit simple, et à côté une somme de produits dont l'ensemble devra être égal au premier qui représente la puissance. C'est de ce principe qu'il faut bien se pénétrer, car il sert de point de départ au calcul de toutes les machines ; c'est par son application que l'on arrive à déterminer d'avance l'importance des trains que peut remorquer une locomotive de dimensions données sur un chemin de fer dont les pentes sont aussi connues.

On a pu voir par la définition que nous avons donnée du travail moteur et du travail résistant, que le premier n'exigeait en quelque sorte, pour arriver à son évaluation, que l'énoncé de la quantité de puissance motrice développée, tandis que le second se complique de la résistance causée par le travail utile, du frottement des pièces de la machine, des pertes de vapeur et des obstacles qu'éprouve son action; enfin, de tous les autres éléments de résistance qui donnent lieu à autant d'évaluations distinctes pour arriver à connaître l'influence relative de chacun d'eux.

Avant de donner la mesure du travail moteur dans une locomotive, il est bon de faire connaître la relation qui existe entre la vitesse que la vapeur imprime à la machine et la charge qu'elle a à remorquer.

On conçoit facilement que toutes les résistances dues à la marche de la machine et des trains viennent se réunir pour agir sur les tiges des pistons, et donnent lieu à une pression totale que nous diviserons par les surfaces de piston pour en avoir l'évaluation par centimètres carrés. De l'autre côté du piston agit la vapeur; et comme ici il n'y a qu'une seule vitesse, il est évident que, pour qu'il y ait mouvement régulier, il faut que ces deux pressions soient identiques. La vapeur se détendra donc jusqu'à ce que sa tension par centimètre carré corresponde à celle qui a lieu en sens inverse du mouvement du piston; et si l'on a le poids d'eau évaporé par seconde, il faudra, pour connaître la vitesse du train, commencer par évaluer le volume qu'occupe ce poids en vapeur à la pression que nous venons d'indiquer : en divisant ce volume par celui du cylindre, on aura le nombre de cylindrées ou de courses de piston qui ont lieu par seconde, ou, ce qui est la même chose, la vitesse de la machine.

Il résulte évidemment de cet énoncé, que l'on ne peut augmenter la vitesse des trains remorqués qu'en augmentant la production de vapeur, et que la tension à laquelle on pourrait, pendant la marche, la porter subitement derrière le piston, en ouvrant entièrement les robinets, ne produirait qu'une accélération de vitesse très courte, produite par l'expansion du volume renfermé dans la chaudière, et qui cesserait dès que l'équilibre entre les pressions serait rétabli. En un mot, à chaque charge de la machine, correspondra une tension de vapeur particulière dans le cylindre; quant à la vitesse, elle est toujours le résultat du volume de vapeur produit à cette tension, ou du poids d'eau vaporisé. Si on augmente la charge, la vitesse sera ralentie; car il faudra, dans ce cas, que la tension augmente, et, par là, le volume de vapeur dépensé par seconde sera diminué. Si on la diminue, le même poids de vapeur occupera, par suite de l'expansion, un plus grand volume, et la vitesse augmentera. Ainsi, puisque pour un poids donné d'eau vaporisée on ne peut faire varier l'une sans l'autre, la vitesse et la pression, on voit que, dans tous les cas, le travail moteur serait proportionnel à l'augmentation ou à la diminution du poids d'eau réduit en vapeur par seconde. Il suffirait donc, pour connaître la puissance relative de plusieurs locomotives, d'énoncer le poids d'eau vaporisé dans le même temps par chacune d'elles, lorsqu'elles sont en marche. Mais on n'a pas dû s'arrêter à ce mode d'évaluation de la force des machines à vapeur, parce qu'il ne se trouvait pas en rapport assez immédiat avec le nombre d'unités dynamiques qu'elles développent Dans les machines fixes, la puissance s'évalue en chevaux. Un cheval est donc considéré comme unité dynamique; cette unité correspond à 75 kilogrammètres par seconde. Nous avons dit plus haut ce qu'on entendait par kilogrammètre.

Ainsi, une machine qui tirerait, par seconde, 100 litres ou 100 kilog. d'eau d'un puits ayant 75 mètres de profondeur, réaliserait un effet utile de 100 chevaux; car chaque litre, élevé à 1^m, représente 1 kilogrammètre, 100 litres, à 75^m, représentent donc 7500 kilogrammètres ou 100 chevaux. Pour avoir une machine qui puisse effectuer ce travail, il faut que la pression sur le piston de la machine, multipliée par la vitesse de ce même piston, soit au moins égale à 7500 kilogrammètres. En admettant que les frottemens, et autres résistances accidentelles, absorbent la moitié de la force, il faudra produire 15000 kilogrammètres [1]. Supposons que la vitesse

[1] Ce coefficient de 0,50 est adopté assez généralement pour le calcul des machines fixes: il n'indique pas que les frottemens absorbent la moitié de la puissance développée ; mais, comme la pression dans le cylindre n'est jamais égale à celle qui se trouve dans la chaudière, le travail du piston, calculé avec cette pression, est pure-

du piston soit de 1^m, la pression de la vapeur 3 atmosphères, et que le vide soit fait complètement du côté opposé à celui où agit la puissance ; on cherchera dans le tableau des pressions celle qui correspond à ce nombre d'atmosphères : elle se trouve être de 31000^k par mètre carré.

En appelant x la section du cylindre, on aura donc

$1 \times x \times 31000 = 15000 \qquad x = 0{,}485.$

1 représente la vitesse,

$x \times 31000$ la pression totale.

Ce calcul, qui donne le diamètre du cylindre d'une machine à vapeur, ne peut s'appliquer rigoureusement au calcul d'une machine locomotive, dont la force de vaporisation influe tellement sur la puissance. En outre, l'expérience a dû diriger dans l'évaluation des résistances sur lesquelles l'application des calculs théoriques présente des causes d'erreur assez considérables.

Expliquons succinctement le calcul que l'on peut faire sur une machine locomotive pour avoir la charge remorquée et la vitesse. Soit p la pression initiale effective de la vapeur, s la surface des deux pistons, $p \times s$ sera la pression utile; soit c la course, le chemin parcouru par le piston pour un tour de roue sera $2c$; soit d le diamètre des roues motrices, πd sera la circonférence ou l'espace parcouru par les deux roues pendant une révolution : π est égal, comme on le sait, à 3,14, les poids remorqués sont en raison inverse du chemin parcouru; or $ps \times 2c$ exprime l'effet utile exercé sur le piston, donc l'effet utile exercé sur les roues sera égal à $ps \times \frac{\pi d}{2c}$ ou par le rapport inverse de la vitesse du piston à la vitesse de la roue : on aura de cette manière l'effort utilisable sur les roues et par suite le poids remorqué en se fondant sur ce que, sur niveau, le frottement des wagons ou la force dépensée pour remorquer une tonne est 4 kilogrammes; en divisant l'effort utilisable par 4 kilogrammes on aura le nombre de tonnes remorquées et par suite le nombre de wagons traînés, si l'on suppose que chacun de ceux-ci pèse cinq tonnes. Cependant il faut remarquer que la machine dépense une certaine force pour ses frottemens. On a trouvé que le frottement du mécanisme était de 9 kilogrammes par tonne du poids de la machine elle-même; et que quant à la perte de force qu'éprouve la machine en raison du poids remorqué, elle peut s'estimer en prenant les $\frac{12}{112}$ de l'effort sur les

ment théorique, et ne se présente que dans les cas très rares où la machine développe toute la force qu'elle est susceptible de produire.

roues diminué du frottement du mécanisme. On arrivera ainsi à l'effet utile de la machine.

La vitesse que peut prendre une machine dépendant d'ailleurs essentiellement de sa force de vaporisation, nous en parlerons en répétant les calculs précédens et en les détaillant dans la note suivante.

L'emploi de la vapeur comprend deux grands systèmes, les machines à condensation et sans condensation.

Les premières peuvent être à basse ou à haute pression, les secondes ne peuvent être qu'à haute pression. Les machines marchant à 1 atm. 25 ou 1 atm. 50 sont à basse pression; celles à 2 atm., 2 atm. 50 sont à moyenne pression. Au-dessus de cette limite les machines sont dites à haute pression.

Dans les premières on condense la vapeur après qu'elle a servi à faire mouvoir le piston. La condensation se fait par une injection d'eau froide qui fait repasser la vapeur à l'état liquide, de même que la chaleur vaporise l'eau. Cette opération enlève à la vapeur sa force élastique, et par conséquent la résistance qu'elle oppose à la marche du piston. Celui-ci est donc influencé par la totalité ou la presque totalité de la pression de la chaudière.

Ce système était tout-à-fait inadmissible pour les machines locomotives: d'abord, à cause de l'impossibilité où l'on est de transporter l'eau de condensation; ensuite ce système entraîne une plus grande complication d'appareil, et c'est là surtout ce que l'on doit éviter. Ces machines ont cependant l'avantage d'offrir moins de chances aux fuites de vapeur, et d'être sous ce rapport d'un plus facile entretien. Mais, comme nous l'avons dit, elles sont inadmissibles pour les locomotives, parce qu'à force égale les pistons et les cylindres doivent avoir des dimensions plus grandes et que l'ensemble de la machine a plus de poids.

Par cette dernière raison encore, il n'y avait pas à hésiter entre la moyenne et la haute pression; puisque les efforts des constructeurs devaient tendre à diminuer autant que possible le diamètre des cylindres. Ensuite les derniers entraînent moins de perte de force; en effet, quand il n'y a pas de condensation, il y a toujours derrière le piston la pression de l'atmosphère extérieure, et la perte due à cette résistance est d'autant plus sensible que la pression utile est moins considérable: ainsi, supposons qu'il y ait deux atmosphères agissant en avant du piston, la pression atmosphérique agissant en arrière fera perdre la moitié de cette pression; si, au contraire, elle est de 4 atmosphères par exemple, la pression atmosphérique ne fera perdre qu'un quart de la pression utile.

Comparons par des chiffres les différens systèmes de machines à vapeur.

Le tableau suivant donne le travail théorique d'un kilogramme de vapeur en prenant un piston d'un mètre carré de surface.

DÉSIGNATION des machines.	Pression absolue en atmosphères.	Pression par m. q. correspondante en kilogrammes.	Pression opposée à la marche du piston par mètre carré.	Pression effective sur le piston d'un mètre carré.	Volume d'un kilogramme de vapeur.	Espace parcouru par un piston d'un mètre carré de surface.	Travail théorique produit par 1 kilog. de vapeur.
		K.	K.	K.	M. C.		K.
1° A basse pression et condensation.	1 1/4	12930	1300	11630	1.3844	1.38	16049
2° A moyenne pression et condensation	2 1/2	25840	1300	24540	0.7334	0.73	17914
3° A haute pression sans condensation	5	51680	10340	41340	0.3994	0.40	16536
4° La même machine ne travaillant pas à sa force	2	20680	10340	10340	0.8999	0.90	9306
5° La même avec détente au 5e	5	26977	10340	16637	0.3994	2.00	33274
6° La même avec détente au 5me et condensation	5	26977	1300	25677	0.3994	2.00	51354

Pour les machines sans condensation on suppose que la vapeur d'échappement va dans l'atmosphère et l'on a retranché 10340 k. ou la pression atmosphérique de la pression absolue pour avoir la pression utile.

Pour les machines à condensation on suppose qu'il y a toujours dans le condensateur $\frac{1}{8}$ d'atmosphère et l'on a retranché cette pression 1,300 k. sur un mètre carré de la pression absolue.

D'après ce tableau, on voit que le meilleur système de machine à vapeur, ou plutôt celui dans lequel la vapeur est le mieux employée, est le système à détente et à condensation.

On voit en outre que le travail théorique produit par un kilogramme de vapeur est à peu près le même pour les machines à basse pression et à condensation que pour les machines à haute pression et sans condensation.

Nous avons d'ailleurs rendu sensible ce résultat, que la moyenne pression sans condensation présentait un grand désavantage sur les autres.

On a donc eu raison d'adopter pour les machines locomotives le système à haute pression.

NOTE DEUXIÈME.

SUR LES DIMENSIONS ET LA PUISSANCE DES MACHINES LOCOMOTIVES EN ACTIVITÉ SUR LES CHEMINS DE FER DE SAINT-GERMAIN ET DE VERSAILLES (RIVE DROITE) ET SUR QUELQUES CHEMINS ANGLAIS.

La puissance d'une machine est représentée par le poids des wagons qu'elle peut remorquer et par la vitesse qu'elle leur imprime. Le problème qu'il faut résoudre sans cesse consiste à chercher la charge remorquée ou la vitesse, l'une ou l'autre étant donnée.

Ces problèmes sont résolus facilement dans tous les cas par des formules simples. Mais pour chaque vitesse ou chaque convoi il faudrait faire des calculs, ce qui serait compliqué, et il est préférable de présenter les résultats d'une manière synoptique, que l'on peut saisir d'un seul coup d'œil, ce qui a le grand avantage de faire ressortir les difficultés que l'on éprouve pour atteindre certaines vitesses, et l'impossibilité qu'il y a de les dépasser. Ces tableaux étant essentiellement pratiques, il a paru convenable d'exclure toutes les formules et de n'arriver aux résultats que par les élémens les plus simples des mathématiques.

Pour chaque machine, il faut avoir les dimensions du mécanisme dont le rapport donne l'état d'équilibre des parties de cette machine. Il faut ensuite prendre les dimensions de son générateur de vapeur en tenant compte des diverses surfaces de chauffe, et en déduire la production probable de vapeur qui limite la vitesse et permet de la déterminer à certaines charges.

Les tableaux A et B renferment ces données pour 19 machines en activité sur les principaux chemins de fer français et anglais.

Quelques explications sont nécessaires pour l'intelligence de ces tableaux.

Le premier contient les dimensions des cylindres et des roues, le nombre des roues, le rapport de leur vitesse à celle des pistons, le poids des machines en marche et le poids réuni de la machine et du tender.

Il donne en outre un certain poids sur les roues motrices : cette colonne est nécessaire pour estimer l'adhérence; les chiffres qui y sont indiqués ne proviennent pas d'observations directes, qui même, pour les machines à six roues, donneraient des résultats variables suivant le plus ou le moins de tension des ressorts. Il a semblé plus convenable de les soumettre toutes à une règle générale, qui est celle-ci : le poids sur roues motrices est pris égal aux 55/100 du poids total des machines à 4 roues et aux 45/100 du poids total des machines à 6 roues.

TABLEAU A.

INDIQUANT LES DIMENSIONS DES CYLINDRES ET DES ROUES, LE POIDS TOTAL ET LE POIDS AGISSANT SUR LES ROUES MOTRICES.

Numéros d'ordre.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	NOMS DES MACHINES.	Dimensions des cylindres: Diamètre.	Course des pistons.	Surface des deux pistons.	Roues motrices: Diamètre.	Circonférence.	Rapport de la vitesse des roues motrices à celle des pistons.	Nombre de roues.	Poids total de la machine en feu.	Poids sur les roues motrices.	Poids de la machine et de son tender en état de marche.
			mètr.	mètr.	m. q.	mètr.	mèt.			tonn.	kilo.	t.
	CHEMIN DE FER DE S.-GERMAIN.											
1	Jackson	Denys Papin	0.280	0.410	0.1230	1.540	4.84	5.90	4	9.25	5100	14
2	Bury	La Seine	0.280	0.415	0.1230	1.546	4.85	5.84	4	9.00	5000	14
3	Tayleur	Tayleur	0.297	0.406	0.1375	1.677	5.27	6.50	6	12.00	5400	8
4	Haigh-Foundry	Etna	0.290	0.406	0.1320	1.670	5.24	6.45	6	14.00	6300	20
	CHEMIN DE FER DE VERSAILLES.											
5	Hawthorn	Jean-Bart	0.305	0.460	0.1451	1.520	4.77	5.18	4	11.00	6000	17
6	Stephenson	Stephenson	0.305	0.460	0.1451	1.680	5.28	5.73	6	13.50	6100	19
7	Sharp et Roberts	Atlas	0.318	0.460	0.1598	1.520	4.77	5.18	6	13.50	6100	20
8	Stehelin et Huber	Alsace	0.316	0.460	0.1567	1.830	5.75	6.25	6	14.00	6300	19
9	Cavé	Gauloise	0.330	0.490	0.1708	1.670	5.24	5.34	6	15.00	6800	22
10	Rothwell	Bucéphale	0.330	0.432	0.1708	1.670	5.24	6.06	6	15.00	6800	22
11	Schneider frères	Creusot	0.330	0.460	0.1708	1.670	5.24	5.70	6	15.50	7000	23
12	Stehelin et Huber	Alcide	0.330	0.460	0.1708	1.830	5.75	6.25	6	15.00	6800	22
13	Stephenson	Vesta	0.330	0.450	0.1708	1.680	5.27	5.70	6	15.00	6800	22
14	Schneider frères	Exposition	0.330	0.460	0.1708	1.830	5.75	6.25	6	15.00	6800	22
15	Jackson	Versailles	0.330	0.460	0.1708	1.670	5.24	5.70	6	15.00	6800	22
16	Sharp et Roberts	Vésuve	0.330	0.460	0.1708	1.680	5.27	5.72	6	15.00	6800	22
	LIVERPOOL A MANCHESTER.											
17	Stephenson	Atlas	0.304	0.405	0.1451	1.520	4.77	5.89	4	11.00	6000	17
18	....id.	Vesta	0.280	0.405	0.1231	1.520	4.77	5.89	4	9.00	5000	14
	GRAND JUNCTION.											
19	Stephenson	N° 130	0.316	0.405	0.1567	1.520	4.77	5.89	6	13.00	5900	18
	LONDRES A BIRMINGHAM.											
20	Stephenson	Harvey Combe	0.304	0.456	0.1451	1.520	4.77	5.02	6	13.50	6100	18
21	Bury	Bury	0.304	0.456	0.1451	1.670	5.24	5.74	4	9.00	5000	15
	GREAT-WESTERN.											
22	Stephenson	North Star	[illegible]	0.405	0.2860	2.128	6.68	8.25	6	19.00	8550	27
23	Tayleur	Eolus	0.355	0.405	0.1980	2.432	7.64	9.43	6	15.50	8300	26
24	...id.	Venus	0.335	0.405	0.1451	2.432	7.64	9.43	6	18.00	8100	25

** La disposition 54/40 et 103/8 indique que pour cette machine 103 tubes ont de diamètre 0,054 et 0,040.

TABLEAU B.

INDIQUANT LES DIMENSIONS DU FOYER, LES SURFACES DE CHAUFFE ET LA FORCE DE VAPORISATION EFFECTIVE.

	Dimensions du foyer.			Tubes de sortie de fumée.			Surface de chauffe				
Numéros d'ordre.	Surface de la grille.	Distance de la grille au premier rang de tubes.	Contenance du foyer en hectolitres jusqu'au 1er rang de tubes *.	Diamètre intérieur.	Longueur des tubes.	Nombre de tubes.	Directe en mètres carrés.	Par les tubes en mètres carrés	Totale.	Réduite.	Vaporisation effective par heure à raison de 90 k. de vapeur utilisée par m. q. de chauffe réduite
	m. q.	mètre.	hectol.	mètre.	mètre.		m. q.	m. q.	m. q.	m. q.	kilogra.
1	0.653	0.450	3.67	0.041	2.10	82	3.32	22.16	25.48	10.71	970
2	0.659	0.475	3.91	0.052	2.36	76	3.07	30.00	33.07	13.07	1175
3	0.620	0.420	3.25	0.041	2.43	107	3.72	33.48	37.20	14.88	1340
4	0.740	0.360	3.33	0.041	2.45	121	4.13	38.24	42.37	16.88	1520
5	0.639	0.500	3.99	0.041	2.50	104	3.75	33.48	37.23	14.91	1340
6	1.087	0.510	6.93	0.054	2.56	80	4.62	34.73	39.35	16.19	1460
7	0.767	0.480	4.60	0.041	2.57	117	4.41	38.44	42.85	17.22	1550
8	0.854	0.450	4.81	0.048	2.67	104	4.29	41.92	46.21	18.26	1645
9	1.030	0.630	8.10	0.050	2.60	99	5.83	40.49	46.32	19.33	1740
10	0.870	0.460	5.00	0.050	2.62	111	4.56	46.65	51.21	19.78	1780
11	1.020	0.550	7.01	0.048	2.69	115	5.60	44.88	50.48	20.56	1850
12	0.870	0.550	5.98	0.048	2.75	115	5.02	47.72	52.74	20.93	1880
13 **	1.039	0.480	6.23	54/40	2.54	103/8	5.69	46.75	52.44	21.27	1914
14	1.150	0.600	8.62	0.040	2.70	138	5.98	46.94	52.92	21.63	1947
15	0.972	0.550	6.68	0.042	2.56	155	5.33	52.71	58.04	22.90	2060
16	1.102	0.550	7.56	0.040	2.55	162	5.83	52.00	57.83	23.16	2084
17	0.860	0.430	4.62	0.041	2.40	65	5.30	20.27	25.57	12.04	1084
18	0.660	0.510	4.21	0.041	2.14	80	4.27	23.79	28.06	12.20	1100
19	0.770	0.500	4.81	0.041	2.44	111	4.34	36.46	40.80	16.49	1384
20	0.950	0.500	5.94	0.041	2.21	102	4.71	31.57	36.28	15.23	1371
21	0.760	0.480	4.56	0.054	2.44	86	3.65	35.17	38.82	15.37	1383
22	1.030	0.500	6.44	0.041	2.59	167	6.52	60.85	67.37	26.80	2410
23	"	"	"	"	"	"	4.68	49.69	54.37	21.24	1912
24	"	"	"	"	"	"	4.19	42.92	47.11	18.50	1665

* C'est le volume déterminé au moyen des deux colonnes précédentes augmenté de 1/4 pour le [illegible]

La force de vaporisation d'une machine dépend de sa surface de chauffe. Des expériences directes faites par M. Stephenson ont fait admettre le rapport de 3 à 1 entre la force de vaporisation de la chauffe directe par le foyer et de celle qui n'a qu'une chaleur de contact, comme les tubes.

D'après le traité de M. de Pambour, la force de vaporisation de six machines du chemin de Liverpool à Manchester, marchant à une vitesse moyenne de 35 kilomètres à l'heure, aurait été de 123 kilog. d'eau vaporisée par heure et par mètre carré de surface de chauffe réduite (c'est-à-dire composée de la réunion du tiers de la surface des tubes à la surface directe).

Dans des expériences plus récentes faites par M. Nich Wood sur quelques chemins de fer anglais, cette force de vaporisation a été trouvée plus considérable. Ce qui peut tenir à deux causes : la première à ce que les machines étaient plus en état d'expérience que les machines essayées par M. de Pambour qu'il prenait dans leur service ordinaire, et la seconde que la vitesse était de 44 kilom. au lieu de 35 kilom.

Peut-être aussi l'augmentation des dimensions de la boîte à feu, et par suite la plus grande quantité de combustible incandescent qu'elle contient, a-t-elle accru la production de vapeur. Voici du reste le résumé de ces diverses expériences.

DÉSIGNATION.		SURFACE de chauffe réduite.	EAU vaporisée par heure.	EAU vaporisée par heure et par mètre carré de surface réduite.	VITESSE moyenne de marche par heure.
Expériences de M. Nich Wood :		m. q.	kil.	kil.	kilomètr.
Great Western railway	North Star. . . .	26,80	4686	175	48
	Eolus.	21,24	3254	153	40
	Venus.	18,50	2915	158	42
Londres à Birmingham	Harvey Combe.	15,23	2453	161	48
	Bury's Engine .	15,37	2293	150	42
Totaux et moyennes.		97,14	15601	moyenne. 160	moyenne. 44
Expériences de M. de Pambour sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester.		12,94	1580	123	35

D'après la comparaison de ces expériences, la force de vaporisation des nouvelles machines par surface élémentaire serait augmentée d'environ 1/3. Cependant, dans les calculs suivans, on conservera les mêmes données que celles de M. de Pambour, parcequ'il convient mieux de partir de chiffres restreints, les machines ne se trouvant pas toujours à l'état parfait d'entretien. La force de vaporisation effective, c'est-à-dire celle qui est réellement utilisée par les cylindres, sera estimée à 90 kilog. d'eau par heure et par mètre carré de surface réduite. Une certaine partie de l'eau est enlevée soit en vapeur par les soupapes, soit à l'état d'eau en suspension dans la vapeur qui passe aux cylindres. Il est en effet très fréquent de trouver des machines qui envoient beaucoup d'eau par la cheminée. Toutes les machines neuves dans lesquelles il est resté un peu de graisse dans la chaudière produisent cet effet dans les premiers jours de marche; les chaudières trop pleines produisent aussi de la vapeur très humide.

La force de vaporisation effective indiquée pour toutes les machines, dans la dernière colonne du tableau B, a été calculée en partant de cette donnée. Les nombres de cette colonne sont sensiblement proportionnels aux puissances absolues de ces diverses machines.

Les dimensions générales ainsi constatées, on peut établir les conditions de marche des machines. Deux élémens sont à déterminer, le poids des convois remorqués et la vitesse de marche; mais il importe de faire figurer deux autres conditions qui sont pour ainsi-dire d'équilibre, ce sont la pression effective dans les cylindres correspondante à l'effort de traction, et l'adhérence nécessaire pour que les roues motrices ne glissent pas en développant cet effort de traction.

Ces deux dernières données se suivent constamment et dépendent rigoureusement l'une de l'autre.

Trois espèces de tableaux restent alors à établir.

1° Étant données les pressions effectives de la vapeur sur les pistons, déterminer les charges remorquées et les vitesses de marche en indiquant aussi l'adhérence nécessaire.

2° Étant données les poids des convois, déterminer la vitesse de marche en indiquant aussi la pression effective correspondante et l'adhérence nécessaire.

3° Enfin, étant données les vitesses de marche, déterminer les trois autres élémens.

Pour arriver à composer ces trois tableaux, il a fallu faire pour chaque machine des calculs spéciaux dont nous donnons un exemple dans les tableaux C, D, E, F appliqués à la machine *la Versailles*, construite par Jackson.

TABLEAU C.

Indiquant pour les pressions effectives de la vapeur depuis 1/2 jusqu'à 4 atmosphères la vitesse de marche, l'effort de traction disponible, et l'adhérence correspondante.

(*Machine* LA VERSAILLES)

Pression effective sur les pistons en atmosphères.	Volume de la vapeur produite par heure. (1)	VITESSES des pistons en mètres. par heure. (2)	par seconde.	Vitesse de marche des roues motrices en kilomètres par heure. (3)	Pression sur les deux pistons en kilogrammes. (2)	Effort rapporté aux roues motrices en kilogram. (3)	FROTTEMENT du mécanisme de la machine à vide. (4-6)	proportionnel à la charge.	total à déduire.	Effort disponible à utiliser.	Adhérence ou rapport de l'effort disponible au poids sur les roues motrices. (5)
atm.	m. c.	mètres.	mètres.	kilom.	kilog.	kilog	kilog.	kilog.	kilog.	kilog	
0.50	2410	14094	3.91	80.3	855	150	30	13	43	107	1/64
0.75	2101	12223	3.39	69.7	1282	225	30	21	51	174	1/39
1.00	1857	10844	3.01	61.8	1710	300	30	29	59	241	1/28
1.25	1685	9854	2.73	56.2	2138	375	30	37	67	308	1/22
1.50	1510	8830	2.45	50.3	2565	450	30	45	75	375	1/18
1.75	1384	8095	2.22	46.1	2993	525	30	53	83	442	1/15
2.00	1279	7481	2.08	42.6	3420	600	30	61	91	509	1/13
2.25	1188	6951	1.93	39.6	3848	675	30	69	99	576	1/11
2.50	1110	6493	1.80	37.0	4275	750	30	77	107	643	10/106
2.75	1042	6095	1.69	34.7	4703	825	30	85	115	710	10/96
3.00	982	5746	1.59	32.7	5130	900	30	93	123	777	10/87
3.25	929	5433	1.50	31.0	5557	975	30	101	131	844	10/81
3.50	882	5156	1.43	29.4	5985	1050	30	109	139	911	10/74
3.75	838	4903	1.36	27.9	6412	1125	30	117	147	978	10/69
4.00	801	4686	1.30	26.7	6840	1200	30	125	155	1045	10/65

(1) La force de vaporisation est de 2060 k. par heure.

(2) La surface des deux pistons est de 0 m. q. 1710.

(3) Le rapport de la vitesse des roues à celle des pistons est de 5,70.

(4) Le poids de la machine en marche est de 15 tonneaux.

(5) Le poids agissant sur les roues motrices est de 6800 k.

(6) Le poids de la machine et de son tender est de 22 tonneaux.

TABLEAU D.

Donnant pour *la Versailles*, aux pressions effectives de 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2 et 4 atmosphères sur les pistons, la vitesse de marche, l'adhérence et le nombre de tonnes de wagon remorquées sur rampe de 0 m.001 et 0 m. 005

Pression effective en atmosphères sur les pistons.	Adhérence.	VITESSE de marche en kil. par heure.	en mètres par seconde.	Effort disponible à utiliser.	SUR RAMPE 0m,001. Effort de traction pour la machine et son tender.	Effort restant pour la remorque des wagons.	Poids des wagons remorqués en tonnes.	SUR RAMPE 0m,005. Effort de traction pour la machine et son tender.	Effort restant pour la remorque des wagons.	Poids des wagons remorqués en tonnes.
1.50	1/18	50.3	2.45	375	110	265	53	198	177	20
2	1/13	42.6	2.08	509	110	399	80	198	311	34
2.50	10/106	37.0	1.80	643	110	533	107	198	445	49
3	10/87	32.7	1.59	777	110	667	133	198	579	64
3.50	10/74	29.4	1.43	911	110	801	160	198	713	79
4	10/65	26.7	1.30	1045	110	965	187	198	847	94

TABLEAU E.

Indiquant pour des convois de 20 à 160 tonneaux remorqués sur rampe de 0 m. 001 et 0 m. 005 la vitesse de marche, la pression effective sur les pistons, et l'adhérence.

(*Machine* LA VERSAILLES.)

Poids des wagons remorqués en tonnes.	SUR RAMPE 0 m. 001. Effort de traction pour les wagons	Effort de traction total y compris la remorque de la machine et de son tender	Pression effective en atmosphères.	Adhérence	Vitesse de marche en kilomètres par heure.	SUR RAMPE 0 m. 005. Effort de traction pour les wagons.	Effort de traction total y compris la remorque de la machine et de son tender.	Pression effective en atmosphères.	Adhérence.	Vitesse de marche en kilomètres par heure.
20	100	210	0.88	1/32	65.5	180	378	1.51	1/19	50.1
30	150	260	1.07	1/26	60.3	270	468	1.81	1/14	45.2
40	200	310	1.26	1/22	56.0	360	558	2.18	1/12	40.4
50	250	360	1.44	1/19	51.7	450	648	2.52	1/10	36.8
60	300	410	1.63	1/17	48.1	540	738	2.84	1/9	33.9
70	350	460	1.82	1/15	45.2	630	828	3.19	1/8	31.4
80	400	510	2.00	1/13	42.6	720	918	3.52	10,74	29.3
90	450	560	2.19	1/12	40.3	810	1008	3.87	10,67	27.3
100	500	610	2.38	1/11	38.3	»	»	»	»	»
110	550	660	2.56	1/10	36.4	»	»	»	»	»
120	600	710	2.75	10,95	34.7	»	»	»	»	»
130	650	760	2.94	10,89	33.2	»	»	»	»	»
140	700	810	3.12	10,84	31.9	»	»	»	»	»
150	750	860	3.31	10,79	30.6	»	»	»	»	»
160	800	910	3.50	10,74	29.4	»	»	»	»	»

TABLEAU F.

Donnant pour *la Versailles* et pour les vitesses de 6 à 16 lieues à l'heure le nombre de tonnes remorquées sur rampe de 0 m. 001 et de 0 m. 005 avec l'indication de l'adhérence et de la pression effective sur les pistons.

Vitesse de marche en kilomètres par heure.	Pression effective en atmosphères.	Adhérence.	Effort disponible à utiliser.	SUR RAMPE 0 m. 001. Effort de traction pour la machine et son tender.	Effort restant pour la remorque des wagons.	Poids des wagons remorqués en tonneaux	SUR RAMPE 0 m. 005. Effort de traction pour la machine et son tender.	Effort restant pour la remorque des wagons.	Poids des wagons remorqués en tonneaux.
64	0.92	10,304	224	110	114	23	198	26	3
60	1.08	10,259	263	110	153	30	198	65	7
56	1.35	10,220	310	110	200	40	198	112	13
52	1.43	10,191	355	110	245	49	198	157	17
48	1.64	10,165	415	110	305	61	198	217	24
44	1.90	10,141	482	110	372	74	198	284	32
40	2.20	10,120	566	110	456	91	198	368	41
36	2.51	10,105	670	110	560	112	198	472	52
32	3.12	10,84	814	110	704	141	198	616	68
28	3.74	10,69	974	110	864	172	198	776	86
26.7	4.00	10,65	1045	110	915	187	198	847	94

Le tableau C est le plus important; il sert à former les trois autres, qui sont composés pour ainsi dire d'intercalaires. Il y a lieu de décrire en détail sa composition.

La première colonne renferme les pressions effectives sur les pistons de quart en quart d'atmosphère jusqu'à 4 atmosphères. Cette pression est quelquefois dépassée dans les chaudières; mais elle ne peut exister sur les pistons qu'au moment du départ, et jamais dans le courant de la marche (sauf cependant dans le cas d'obstacle subit). La deuxième colonne donne, pour les diverses pressions, le volume de la vapeur utilisée par heure, dont le poids est renfermé dans le tableau B à la colonne de la force de vaporisation effective. Pour composer cette colonne, il suffit de prendre le volume d'un kilogramme d'eau aux diverses pressions dans le tableau de la note précédente, en augmentant de 1 atmosphère la pression de la vapeur à cause de la pression atmosphérique elle-même qui dans les machines locomotives résiste aux pistons. Ainsi, par exemple, à 1 atmosphère de pression effective on prendra 2 atmosphères de pression de vapeur absolue pour laquelle le volume de vapeur est de 0 m. c. 8999 par kilog., ce qui, pour l'eau vaporisée par la machine *la Versailles*, qui est de 2060 kilog., donne 1854 m. c. figurant au tableau C. La troisième et la quatrième colonne renferment la vitesse que doit prendre le piston pour consommer le volume de la vapeur produite aux diverses pressions. La troisième colonne est donc obtenue en divisant le volume de la vapeur produite en mètres cubes par la surface des deux pistons en mètres carrés. On a ainsi la vitesse par heure, et, en divisant par 3600, la vitesse par seconde.

La cinquième colonne s'obtient en multipliant la troisième par le rapport de la vitesse de la roue à celle des pistons.

La sixième colonne se comprend sans explication; elle offre une petite erreur en ce qu'on a pris 1 kilog. au lieu de 1 kilog. 03 pour la pression de l'atmosphère par centimètre carré.

La septième colonne s'obtient en divisant la précédente par le rapport de la vitesse des roues à celle des pistons.

L'effort ainsi rapporté aux roues motrices n'est pas encore l'effort de traction: il doit être préalablement diminué des frottemens du mécanisme, qui sont divisés en deux catégories. La première est constante, c'est le frottement à vide; il est estimé à deux kilog. par tonne du poids de la machine. Cette manière d'estimer le frottement du mécanisme n'est pas rigoureuse en ce sens que, si pour la même machine on double le diamètre des roues, on augmente le frottement du mécanisme, dont l'expression resterait cependant la même; mais les proportions des roues de machine étant sensiblement

les mêmes, les expériences de M. de Pambour donnent un résultat qu'on peut appliquer sans erreur.

La huitième colonne renferme les frottemens du mécanisme à vide obtenus par cette méthode.

Les frottemens du mécanisme qui sont proportionnels à la charge sont estimés à raison de 12/100 de l'effort utilisé. Il en résulte qu'après avoir défalqué le frottement à vide de la force de traction sur la roue, il reste une quantité égale à la force disponible, plus le frottement proportionnel; celui-ci sera donc les 12/112 de cette quantité : c'est ce coefficient qui a servi à former la neuvième colonne.

La dixième colonne n'est que le total des frottemens à déduire de la septième colonne. Le reste constitue la force disponible à utiliser, indiquée dans la onzième colonne. Cet effort de traction disponible comprend non seulement celui qui est nécessaire à la remorque des wagons, mais encore l'effort nécessaire pour maintenir en mouvement la machine elle-même et son tender : c'est en un mot l'effort qui agit sur les rails.

La douzième colonne indique le rapport de l'effort de traction au poids sur les roues motrices. C'est l'adhérence qui est au moins nécessaire pour que les roues ne glissent pas.

D'après les expériences qui ont été faites sur les chemins de fer, l'adhérence serait très variable. Quelques machines, par des temps convenables, sur rails secs, ont remorqué des charges correspondantes à une adhérence égale au 1/7 et même au 1/6 de la charge sur les roues motrices. D'autres fois au contraire, sur des rails gras et par des brouillards et des temps pluvieux, l'adhérence a été réduite à 1/15 et même 1/20. Mais, en pratique, il ne faut pas dépasser 1/10, afin d'être certain que les roues ne glisseront pas en général. On voit donc toute l'importance qu'il y a à indiquer l'adhérence dans les tableaux, puisque dans certaines circonstances on s'exposerait sans cela à avoir de grands retards causés par le glissement des roues.

Ce premier tableau C, ainsi complété, sert de base à la composition des trois autres pour lesquels il faut faire intervenir un autre élément, c'est-à-dire les inclinaisons. L'effort nécessaire pour faire mouvoir la machine et son tender, qui ne doivent pas figurer dans la charge remorquée, est en effet plus considérable pour les fortes inclinaisons; d'un autre côté l'effort pour remorquer les wagons dépend également des inclinaisons.

Ces trois derniers tableaux sont calculés pour 2 rampes, l'une de $0^{m},001$, qui peut s'appliquer au chemin de fer de Saint-Germain et au chemin de fer de Londres à Bristol (Great Western railway), et l'autre de $0^{m},005$ s'appliquant au chemin de fer de Versailles, rive droite, et aux grandes lignes projetées pour lesquelles on paraît vouloir adopter une inclinaison maximum

de $0^m,005$. Le frottement, ou la force nécessaire pour faire marcher les wagons et machines sur niveau, a été pris égal à 1/250 du poids, ou à 4 kilog. par tonne. L'effort pour élever le train est donné par l'inclinaison, et il est de 1 kilog. par tonne ou 1000 kilog. et par millim. d'inclinaison. Ainsi sur rampe de $0^m,001$ il est de 1 kilog., et sur rampe de $0^m,005$ de 5 kilog. L'effort total de traction nécessaire pour remorquer une tonne sur rampe de

$0^m,001$ sera donc de 5 kilog.
$0^m,005$ 9

Ceci posé, les tableaux D, E, F se comprendront très facilement.

Dans le tableau D les chiffres des cinq premières colonnes sont pris sur le tableau C; la sixième, qui est constante, est donnée par le produit du poids en tonnes de la machine et du tender par 5 kilog., effort nécessaire pour mouvoir une tonne sur une rampe de $0^m,001$.

Ces chiffres défalqués de la colonne précédente fournissent la septième colonne ou l'effort disponible pour la remorque des wagons.

Enfin, en divisant ces derniers chiffres par 5 kilog. on obtient le nombre de tonnes remorquées indiqué dans la huitième colonne.

Les trois dernières colonnes sont obtenues de la même manière, en remplaçant seulement l'effort par tonne de 5 kilog. par celui de 9 kilog. nécessité par la plus grande inclinaison de la rampe.

Dans le tableau E, le poids du convoi est donné; on en tire d'abord l'effort de traction correspondant à raison de 5 k. et de 9 k. (deuxième et septième colonnes). En ajoutant l'effort nécessaire pour mettre en mouvement la machine et son tender on obtient l'effort disponible total (troisième et huitième colonnes), qui n'est autre chose que ce qui constitue la onzième colonne du tableau C. Il suffit alors d'intercaler les chiffres ainsi obtenus et de prendre des proportionnels pour obtenir directement les pressions effectives, les adhérences et les vitesses. Ainsi, par exemple, pour un poids de 50 tonneaux sur rampe $0^m,001$ l'effort disponible est de 360 kilog.: ce nombre dans le tableau C se trouve entre 308 et 375, dont la différence est de 67; celle de 360 à 375 étant de 15, leur rapport est de $\frac{15}{67} = 0,22$: prenant les différences entre les chiffres correspondans pour la pression, l'adhérence et la vitesse, multipliant chacun par le rapport 0,22 et ajoutant ou retranchant, suivant que la progression s'élève ou s'abaisse, on obtient les chiffres intercalaires qui figurent dans le tableau E.

Dans le tableau F, les quatre premières colonnes sont obtenues de la même manière; ce sont des intercalaires qui amènent aux tractions disponibles: en défalquant alors l'effort nécessaire pour mouvoir la machine et

TABl[illegible]

Do[illegible]ns, la [illegible]r rampe de 0 m. 001 et de 0 m. 005.

Numéros d'ordre.	2 /2.			4 atmosphères.				
	Adhérence.	[illegible] Vitesses [illegible] m. 0	Vitesses du piston en mètres par 1''.	Adhérence.	Nombre de tonnes remorquées sur rampe. m. 0.001	Nombre de tonnes remorquées sur rampe. m. 0.005	Vitesses de marche du convoi en kilomètres par heure	Vitesses du piston en mètres par 1''.
1	1/11	[illegible]9	0.93	1/7	131	67	18.1	0.85
2	1/11	[illegible]9	1.13	1/7	133	67	21.7	1.03
3	1/12	[illegible]0	1.15	10/73	129	64	24.6	1.04
4	1/15	[illegible]9	1.37	1/9	119	57	28.9	1.24
5	1/10	[illegible]15	1.09	1/6	179	92	18.7	0.99
6	1/11	[illegible]6	1.19	1/7	158	80	21.3	1.08
7	1/9	[illegible]15	1.15	10/56	196	100	19.5	1.04
8	1/12	[illegible]1	1.24	1/7	155	78	25.5	1.13
9	1/10	[illegible]15	1.21	10/61	200	102	21.3	1.10
10	1/11	[illegible]0	1.23	10/69	173	86	24.5	1.12
11	1/11	[illegible]14	1.28	10/65	186	93	23.3	1.14
12	1/12	[illegible]4	1.30	1/7	168	84	26.7	1.18
13	1/11	[illegible]14	1.34	10/65	187	94	25.5	1.24
41	1/12	[illegible]5	1.29	10/71	168	83	27.7	1.23
15	1/11	[illegible]14	1.43	10/65	187	94	26.7	1.30
16	1/10	[illegible]17	1.45	10/50	185	93	27.9	1.35
17	1/11	[illegible]9	0.89	1/7	154	78	17.2	0.81
18	1/11	[illegible]6	1.06	10/68	131	67	20.6	0.97
19	1/10	[illegible]2	1.05	10/63	168	85	20.2	0.92
20	1/10	[illegible]12	1.12	1/6	185	95	18.4	1.02
21	1/9	[illegible]4	1.13	10/56	162	83	21.2	1.03
22	1/12	[illegible]17	1.00	1/7	214	107	27.1	0.91
23	1/19	[illegible]9	1.15	1/12	118	54	35.5	1.04
24	1/26	[illegible]4	1.36	1/16	78	32	42.2	1.24

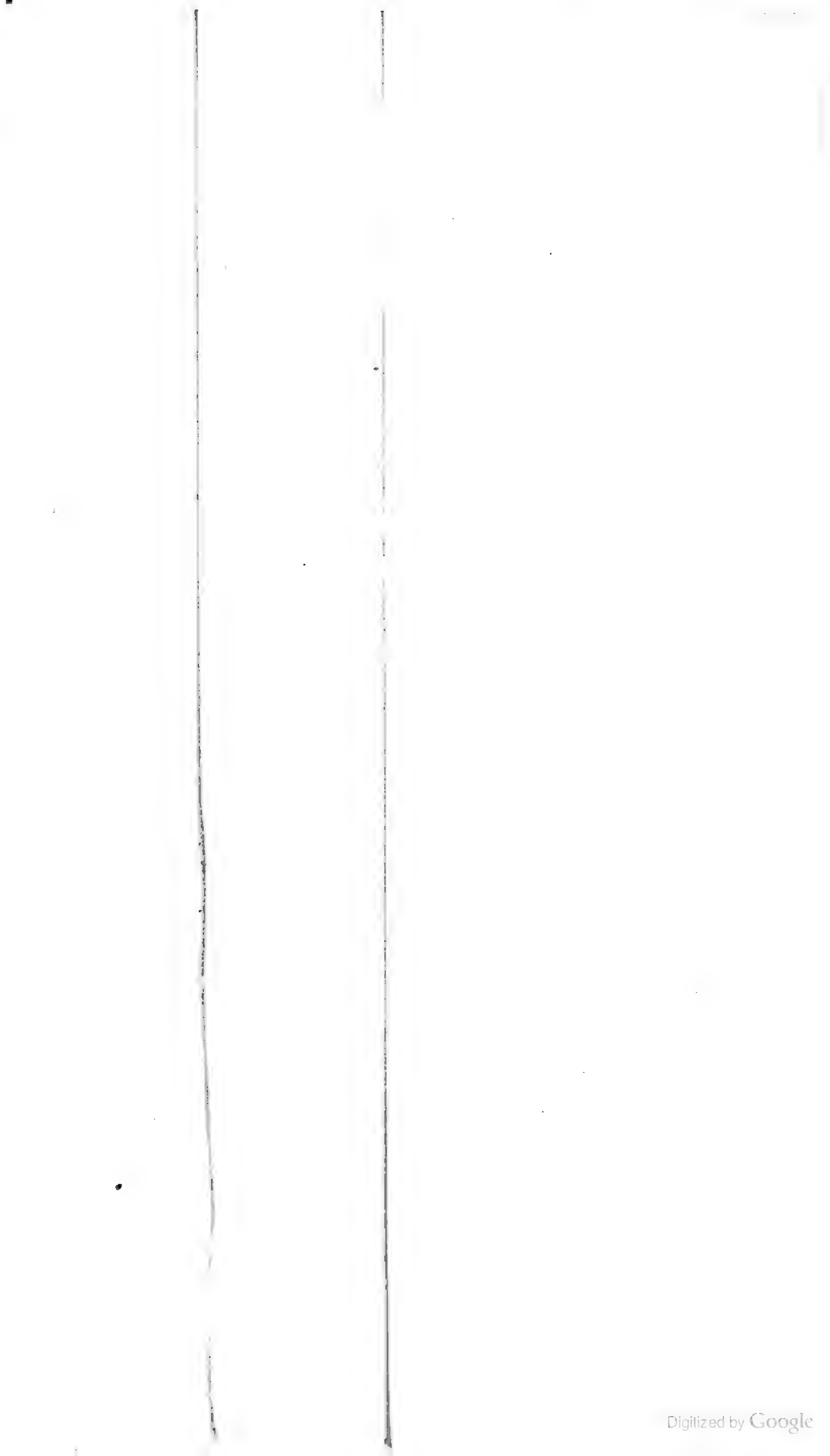
rIes

POIDS DES CONVOIS REMOR

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CONSTRUCTE	les pistons en atmosphères.
	CHEMIN DE	
1	Jackson.	2.6
2	Bury, ...	2.2
3	Tayleur	2.
4	Haigh-Foundry (	2.
	CHEMIN D	
5	Hawthorn.	1.[illegible]2
6	Stephenson	1.[illegible]7
7	Sharp et Roberts	1.[illegible]2
8	Stehelin et Huber	1.[illegible]2
9	Cavé.	1.[illegible]4
10	Rothwell	1.[illegible]4
11	Schneider frères .	1.[illegible]5
12	Stehelin et Huber	1.22
13	Stephenson	1.[illegible]4
14	Schneider frères.	1.27
15	Jackson.	1.[illegible]4
16	Sharp et Roberts	1.[illegible]5
	DE LIVERI	
17	Stephenson.	1.44
18	. . . id.	2.97
	GRAND	
19	Stephenson.	1.19
	DE LOND	
20	Stephenson.	1.94
21	Bury.	1.28
	GREAT	
22	Stephenson	1.64
23	Tayleur	2.»
24	. . . id.	3.»

pistons en atmosphères.

30.		140.			150.			160.		
Adhérence.	Vitesse de marche en kilomètres.	Pression effective sur les pistons en atmosphères.	Adhérence.	Vitesse de marche en kilomètres.	Pression effective sur les pistons en atmosphères.	Adhérence.	Vitesse de marche en kilomètres.	Pression effective sur les pistons en atmosphères.	Adhérence.	Vitesse de marche en kilomètres.
1/7	18.2	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1/7	22.0	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1/8	22.7	3.22	10/76	21.8	3.42	1/7	20.8	3.62	10/67	19.8
10/81	25.0	3.60	10/76	23.8	3.81	10/72	22.8	»	»	»
1/8	25.0	3.00	10/76	23.9	3.17	10/71	23.0	3.35	10/68	22.2
10/85	28.5	3.67	10/79	27.2	3.90	10/74	26.0	»	»	»
10/89	27.6	2.94	10/84	26.5	3.12	10/79	25.4	3.29	10/74	24.5
10/89	29.2	3.34	10/84	27.9	3.54	10/79	26.8	3.74	10/74	25.7
10/91	29.7	3.14	10/85	28.5	3.37	1/8	27.4	3.52	10/76	26.3
1/9	31.1	3.42	10/84	29.9	3.62	1/8	28.7	3.81	10/74	27.6
10/89	31.0	3.10	10/94	29.6	3.31	10/79	28.4	3.50	10/74	27.4
10/89	32.3	3.44	10/84	30.9	3.63	10/79	29.7	3.98	10/74	28.1
10/89	33.2	3.12	10/84	31.9	3.31	10/79	30.6	3.50	10/74	29.4
10/89	33.8	3.14	10/84	32.3	3.33	10/79	31.0	3.52	10/74	29.9
10/81	19.1	3.67	10/76	18.3	3.89	10/71	17.6	»	»	»
10/69	20.7	»	»	»	»	»	»	»	»	»
10/79	23.8	3.42	10/74	22.6	3.62	10/70	21.7	3.83	10/66	20.9
10/82	22.9	3.13	10/77	21.8	3.33	10/73	21.0	3.52	10/68	20.1
10/68	24.5	3.51	10/64	23.1	3.73	1/6	22.5	3.95	10/57	21.5
1/11	36.3	2.81	1/10	34.7	2.97	10/96	33.3	3.13	1/9	32.2
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»



005 (1/200) la vitesse de marche,

ns.

Vitesse de marche	70. Pression effective sur les pistons en atmosphères.	70. Adhérence.	70. Vitesse de marche en kilomètres.	80. Pression effective sur les pistons en atmosphères.	80. Adhérence.	80. Vitesse de marche en kilomètres.	90. Pression effective sur les pistons en atmosphères.	90. Adhérence.	90. Vitesse de marche en kilomètres.	100. Pression effective sur les pistons en atmosphères.	100. Adhérence.	100. Vitesse de marche en kilomètres.
.2	3.99	1/7	18.1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
.0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
.9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
.9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
6	3.19	10/76	21.8	3.57	1/7	20.3	3.94	1/6	18.7	»	»	»
9	3.62	10/76	24.0	»	»	»	»	»	»	»	»	»
.6	3.03	10/74	23.8	3.35	10/66	22.1	3.68	1/6	20.7	4.00	10/56	19.5
4	3.67	1/8	27.0	»	»	»	»	»	»	»	»	»
.1	3.01	1/8	26.0	3.32	10/74	24.4	3.63	10/67	22.8	3.95	10/62	21.5
8	3.40	1/8	27.4	3.75	10/74	25.5	»	»	»	»	»	»
2	3.22	10/83	28.0	3.56	10/75	26.0	3.90	10/68	24.0	»	»	»
8	3.49	1/8	29.5	3.87	10/74	27.4	»	»	»	»	»	»
6	3.19	1/8	29.2	3.52	10/74	27.3	3.87	10/67	25.9	»	»	»
0	3.50	1/8	30.5	3.76	10/74	28.4	»	»	»	»	»	»
9	3.19	1/5	31.4	3.52	10/74	29.3	3.87	10/67	27.3	»	»	»
5	3.21	1/8	31.8	3.55	10/74	29.3	3.89	10/67	28.2	»	»	»
9	3.66	10/76	18.3	»	»	»	»	»	»	»	»	»
8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
6	3.42	10/74	22.6	3.79	10/66	21.0	»	»	»	»	»	»
6	3.13	1/8	21.7	3.50	1/7	20.2	3.83	10/63	18.9	»	»	»
5	3.46	10/65	23.6	3.86	10/58	21.9	»	»	»	»	»	»
3	2.86	1/10	33.4	3.22	1/9	31.6	3.52	1/8	29.6	3.87	10/74	28.1
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

de la pression effective correspondante.

56 kilom. ou 14 lieues.				60 kilom. ou 15 lieues.				64 kilom. ou 16 lieues.			
Pression effective sur les pistons en atmosphères.	Adhérence nécessaire.	Traction possible en tonneaux. Sur rampe 0 m. 001.	Traction possible en tonneaux. Sur rampe 0 m. 003.	Pression effective sur les pistons en atmosphères.	Adhérence nécessaire.	Traction possible en tonneaux. Sur rampe 0 m. 001.	Traction possible en tonneaux. Sur rampe 0 m. 003.	Pression effective sur les pistons en atmosphères.	Adhérence nécessaire.	Traction possible en tonneaux. Sur rampe 0 m. 001.	Traction possible en tonneaux. Sur rampe 0 m. 003.
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0.78	1/38	12	»	0.66	1/47	7	»	0.54	1/60	3	»
1.03	1/31	15	»	0.90	1/36	10	»	0.77	1/43	5	»
1.35	1/29	26	6	1.18	1/35	20	2	1.01	1/42	15	»
0.50	1/57	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0.87	1/40	17	»	0.74	1/41	11	»	0.61	1/53	4	»
0.60	1/43	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1.13	1/28	27	6	0.97	1/32	20	3	0.84	1/40	14	»
0.74	1/36	15	»	0.62	1/45	10	»	0.50	1/59	1	»
1.05	1/29	24	3	0.91	1/33	17	»	0.77	1/40	10	»
0.98	1/29	24	3	0.85	1/35	17	»	0.72	1/41	10	»
1.23	1/24	34	9	1.07	1/28	26	4	0.94	1/33	18	»
1.06	1/27	29	7	0.94	1/31	22	2	0.79	1/36	15	»
1.33	1/23	37	11	1.16	1/28	25	4	1.01	1/31	22	2
1.35	1/21	40	13	1.08	1/26	30	7	0.92	1/31	23	3
1.27	1/21	41	13	1.11	1/24	33	9	0.96	1/29	23	3
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0.67	1/46	8	»	0.52	1/61	2	»	»	»	»	»
0.70	1/40	11	»	0.52	1/57	3	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0.74	1/34	15	2	0.60	1/42	9	»	»	»	»	»
1.20	1/25	40	10	1.08	1/29	33	6	0.96	1/33	26	2
2.00	1/24	42	12	1.79	1/27	35	8	1.61	1/31	28	4
2.60	1/25	41	12	2.35	1/28	34	8	2.14	1/31	27	4

son tender, on obtient l'effort restant pour la remorque des wagons, et par suite le nombre de tonnes remorquées sur les rampes de $0^m,001$ et $0^m,005$.

Les calculs qui sont indiqués dans les tableaux C, D, E, F pour la machine *la Versailles* ont été répétés pour les 19 machines, et l'on a pu ainsi composer les tableaux G, H, H', K, qui n'ont pas besoin d'explication.

Le tableau G est composé par D

H et H'	par	E
K	par	F

De l'examen de ces tableaux résulte la tendance bien évidente à augmenter toujours la puissance des machines : ainsi les cylindres sont de plus en plus grands : la surface de chauffe, et, par conséquent, la force de vaporisation, s'augmente encore dans un plus grand rapport, afin d'atteindre de plus grandes vitesses. L'adoption exclusive des machines à 6 roues et la pesanteur énorme des rails que l'on a fini par employer généralement, ont permis d'accroître ainsi le poids des machines. Ce poids, qui pour les premières machines avait été limité à 6 tonnes, s'est élevé jusqu'à 18 tonnes pour les grandes machines du Great Western railway.

Ce résultat est tout-à-fait logique ; et, d'un autre côté, l'augmentation de poids n'est pas un inconvenient quand la route est assez solide, car ce poids est nécessaire pour produire l'adhérence.

On remarquera que les machines commandées spécialement pour le service du chemin de fer de Versailles (depuis n° 9 jusqu'à la fin) ont dépassé de beaucoup la puissance des machines jusque là en usage; il s'agissait en effet de faire un service régulier et rapide sur une pente constante de $0^m,005$. L'emploi de ces machines sur le chemin de Saint-Germain a fait voir que l'on en pouvait tirer de grands avantages, et que leur consommation de combustible n'était pas beaucoup plus grande pour les petites charges que les anciennes machines; qu'en cas de grande affluence elles pouvaient mener des convois très considérables, et que pour les convois ordinaires elles atteignaient de grandes vitesses.

Les chemins de fer de grande longueur ayant certaines inclinaisons de $0^m,005$ adoptent des machines semblables ayant des roues assez grandes et susceptibles de grande vitesse. Ces machines sur niveau ou sur pentes faibles remorquent à grande vitesse des charges considérables, et aux passages difficiles, par les dimensions de leurs cylindres, elles sont en état de remorquer les convois, avec une diminution de vitesse, il est vrai, mais que fait pour un long trajet un ralentissement partiel sur quelques kilomètres ?

Brunel, sur son chemin de fer de Bristol, ne s'est pas contenté d'augmenter

de deux pieds la largeur de la voie, qu'il a portée à 7 pieds, et de changer son mode de construction, il a commandé des machines spéciales dans le but de marcher à grande vitesse. Leurs dimensions, comme on l'a vu dans les tableaux sont tout-à-fait anormales, à l'exception cependant de la *North Star*. Les autres, en effet, ont de grandes roues et de petits cylindres. Leur force de vaporisation est, il est vrai, considérable et capable de les conduire à pleine pression à une vitesse de 11 et 12 lieues; mais leur charge remorquée est trop faible, et de plus il ne reste pas assez de force disponible pour vaincre les résistances de l'air, qui à de grandes vitesses deviennent réellement fort considérables. Aussi dans les expériences la *North Star* a-t-elle mieux fonctionné que les autres. Brunel aurait obtenu de meilleurs résultats encore s'il avait augmenté la surface de chauffe et le diamètre de ses cylindres en même temps que celui de ses roues. Il ne faut pas moins reconnaître que son but a été en partie rempli, puisque le service de son chemin de fer se fait, en moyenne, plus vite que sur les autres lignes.

En constatant cette tendance bien prononcée pour l'augmentation de la puissance des machines, et surtout pour l'augmentation de la production de vapeur, il reste à faire un dernier vœu, c'est celui de l'application de la détente, qui, en utilisant mieux la vapeur, permettra d'accroître les vitesses de marche des machines dans une bien grande proportion. Des essais seront tentés sous peu. Il est à désirer qu'ils réussissent, ce sera sans contredit le plus grand perfectionnement que l'on pourra introduire dans les machines locomotives.

Un dernier mot sur les tableaux. Les chiffres qu'ils indiquent n'ont rien d'absolu; si on les applique, par exemple, aux résultats obtenus sur le chemin de fer de Saint-Germain, on trouvera probablement peu de différence : mais il peut en exister cependant, puisque les calculs sont faits pour rampe continue de $0^{m},001$; tandis que le chemin de fer de Saint-Germain a des pentes et des rampes ne dépassant pas cette inclinaison, mais aussi des parties de niveau.

Enfin, si l'on veut que les machines puissent entraîner facilement un convoi et lui donner en peu de temps sa vitesse de marche, il est nécessaire que la pression disponible sur le piston soit assez considérable pour vaincre l'inertie du convoi. Ainsi un convoi qui exigerait en marche une pression effective de 3 atmosphères ne prendra que difficilement de la vitesse, parceque la puissance disponible ne sera que d'une atmosphère au plus. En effet, il arrive fréquemment qu'une machine ne peut pas faire partir un convoi qu'elle traînerait facilement une fois qu'il serait lancé.

NOTE TROISIÈME.

SUR

L'APPLICATION DE LA DÉTENTE AUX MACHINES LOCOMOTIVES.

A l'inspection des tableaux qui précèdent on se rendra compte d'un fait matériel : c'est que, avec les trains actuels de voyageurs parcourant la ligne du chemin de fer de Paris à Saint-Germain, la pression de quatre atmosphères est loin d'exister quand les convois ont atteint leur vitesse. Ainsi nous voyons (tableau H.) que la petite Jackson à quatre roues, pour remorquer 40 tonneaux ou environ 8 wagons pleins sur une rampe de $0^{m},001$, n'exige sur le piston qu'une pression effective de 1, atm. 54, et peut marcher à une vitesse de 34 kilomètres; si l'on veut maintenir une pression convenable dans la chaudière, le régulateur doit donc être très peu ouvert et il se forme une véritable détente dans les tuyaux de distribution.

En appliquant le principe de détente on arrivera au contraire à faire agir la vapeur à pleine pression dans le commencement et à détendre ensuite dans le cylindre même cette vapeur qui s'échappera dans la cheminée à une pression moindre.

La détente offre une application avantageuse à toutes les machines, puisque jamais la pression effective sur les pistons n'est aussi considérable que dans la chaudière ou du moins cela ne peut exister qu'à la rencontre de certains obstacles. On comprend en effet que, s'il fallait en marche maintenir une pression effective de 4 atmosphères, il serait impossible de faire partir les trains, puisqu'il n'y aurait pas de puissance disponible pour vaincre leur inertie.

Quant à l'économie du combustible, elle est évidente et l'on peut s'en rendre compte par le tableau suivant :

FRACTIONS de la course pendant laquelle la vapeur agit à pleine pression.	TRAVAIL produit avec l'application de la détente dans un cylindre, le travail à pleine pression étant 1.	TRAVAIL de la vapeur détendue, le travail de cette même vapeur sans détente étant I.
0.20	0.52	2.60
0.25	0.595	2.38
0.30	0.66	2.20
0.35	0.717	2.05
0.40	0.77	1.93
0.45	0.81	1.81
0.50	0.85	1.70
0.60	0.91	1.52
1.00	1.00	1.00

Par ce tableau on voit qu'en effectuant dans une machine donnée la détente aux 3/10 de la course, par exemple, on diminue du tiers environ la puissance de la machine; mais comme on diminue de 7/10 la consommation de vapeur, il en résulte que le travail produit par un certain poids de vapeur est plus que doublé. L'utilité de la détente ressort d'une manière évidente de l'examen de ce tableau.

L'avantage principal de la détente est de faire produire un plus grand travail à la vapeur. Son effet est donc d'augmenter la force de vaporisation des machines et nous avons vu que c'était le but vers lequel on tendait toujours.

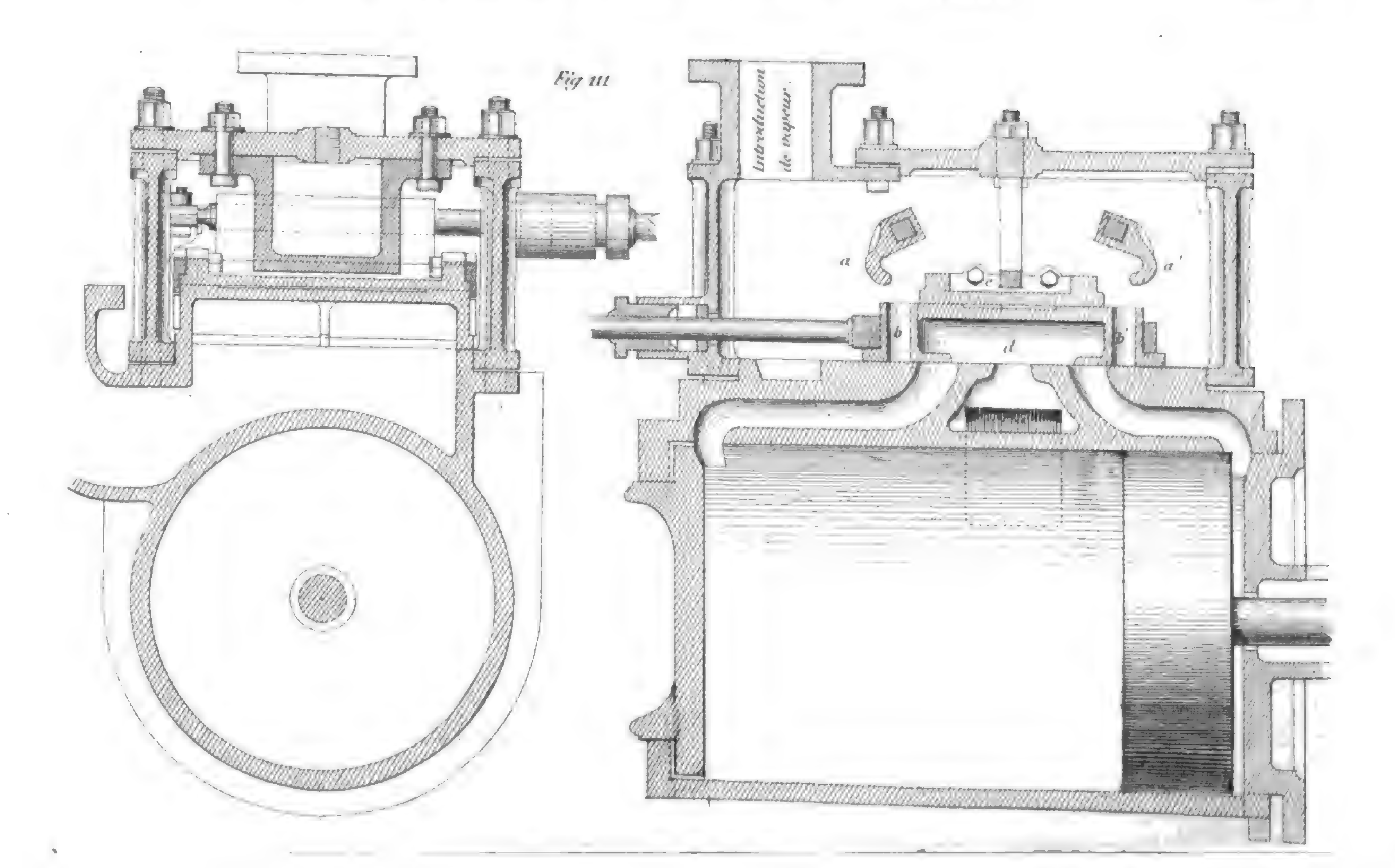
L'application de la détente amènerait donc le résultat d'une grande augmentation dans la vitesse de marche d'une machine, tout en maintenant la même condition de traction.

Elle offrirait en même temps une économie de combustible assez considérable.

La seule difficulté est l'application d'un appareil simple et solide et qui ne puisse pas se déranger. C'est, à vrai dire, ce qui a empêché d'appliquer jusqu'à présent la détente aux machines locomotives.

Les dérangemens fréquens de ces appareils, les réparations si nombreuses qu'elles exigent, ont fait craindre d'adopter des distributions plus compliquées qui augmenteraient encore les chances d'arrêt. Cependant au chemin de fer de Saint-Germain on tente actuellement un essai qui, il y a lieu de l'espérer, sera couronné de succès. La détente variable que M. Edwards a appliquée si heureusement depuis quelques annés sur les machines fixes, et qui a produit de si bons résultats, va être essayée aux machines locomotives.

Détente d'Edwards appliquée à la Machine de Tayleur le St Germain



La figure ci-jointe donne des détails généraux de cette distribution. Le tiroir, outre la boîte *d*, communiquant avec l'atmosphère, a 2 entrées spéciales de vapeur *b*, *b'*, dont la largeur n'est qu'un peu plus de moitié des lumières du cylindre.

Ce tiroir complet est couvert par un registre *e* retenu par son propre poids et les guides supérieurs en fer sur le tiroir principal, qui l'entraîne dans son mouvement.

Si ce registre reste au milieu, la distribution a lieu complètement, comme dans les autres machines; si au contraire les arrêts *a* et *a'* sont resserrés et sont heurtés par le registre *e* avant la fin de la course du tiroir, le petit registre ferme l'entrée de vapeur : ainsi l'arrêt *a* ferme l'entrée *b'*, et l'arrêt *a'* l'entrée *b*. On comprend qu'en resserrant plus ou moins et toujours également les deux arrêts on peut détendre à un point quelconque de la course. Les deux arrêts sont réunis par une tige de manière à pouvoir être fermés toujours également. Ils sont commandés ensemble par une longue tige terminée par un écrou à la portée du mecanicien, qui peut à volonté augmenter ou diminuer la détente. Les lumières du tiroir sont beaucoup moins larges que celles des cylindres, afin que ce tiroir ait un mouvement propre à lui pendant lequel le registre puisse se fermer complètement et à divers points de la course à volonté.

Ajoutons enfin que le diamètre du cylindre a été augmenté afin de conserver à la machine la même puissance.

Cette dernière modification ne nous semble pas motivée. Elle est tout à fait en désaccord au contraire avec ce que l'on veut corriger. Il est en effet reconnu que les machines du chemin de fer de Saint-Germain n'ont besoin de la pression complète sur le pistou qu'au départ seulement et que, dans la marche, la pression effective est toujours au-dessous de 2 atmosphères. En conservant le même diamètre de cylindre à la machine Tayleur (n° 3), et suspendant la détente au moment du départ, on a la même force de traction qui suffit actuellement, et une fois l'inertie vaincue on peut appliquer la détente qui a alors pour effet d'utiliser mieux la vapeur de deux manières :

1° Parceque dans les machines sans condensation l'effet utile de la vapeur augmente avec la pression. 2° Parceque l'on emploie le travail dû à la détente.

Au lieu de cela, le diamètre des anciens cylindres était de 0m,297, et leur surface de 0m,138. On a porté leur diamètre à 0 m.350 et par suite leur surface à 0m,192.

La pression en marche de la vapeur pour un train de 40 tonnes sur rampe de 0m,001 (voir tableau H, note 2) était de 1 atm. 70, cette pression effective à pleine vapeur ne sera plus que de 1 atm. 22; et en faisant la détente

aux 0, 40 de la course la pression initiale sera de 1,22/0,77 = 1,60*, et par suite la pression effective au moment de l'échappement à la fin de la course ne sera que de 0 atm. 04 **.

Tandis qu'en ayant conservé le diamètre de l'ancien cylindre, la pression initiale eût été de 2 atm. 18 et à l'échappement de 0 atm. 27; on aurait obtenu ainsi un plus grand effet utile et un tirage plus énergique : il est probable enfin que le résultat eût été meilleur, c'est-à-dire l'économie de combustible plus grande et la vitesse de marche plus considérable.

* Ce chiffre 0,77 est extrait du tableau précédent ; c'est le travail d'une cylindrée avec détente au 0,40 de la course comparé au travail à pleine vapeur.

** La pression absolue de la vapeur dépasse de 1 atm. la pression effective ; elle est ainsi de 2 atm. 60, et par l'augmentation de volume elle n'est plus à la fin de la course que 2,60 × 0,40 = 1,04 ou 0 at. 04 effective.



NOTE QUATRIÈME.

SUR LES POMPES ALIMENTAIRES.

La question de l'alimentation de l'eau dans les machines locomotives est trop importante pour les conducteurs pour que nous n'ayons pas cru devoir y appliquer le calcul. Nous avons donc recherché jusqu'à quel degré on est maître de regler rapidement le niveau de l'eau, et en combien peu de temps on peut élever ce niveau si on l'avait laissé baisser accidentellement. — Nous avons établi le tableau suivant, en observant que, pendant qu'une pompe fournit une cylindrée d'eau, la machine dépense une double cylindrée de vapeur, puisque deux coups de piston de la pompe servent, l'un à l'aspiration, l'autre au refoulement, tandis qu'un double coup du piston moteur dépense deux cylindrées de vapeur.

TABLEAU de la puissance d'alimentation des pompes de seize machines locomotives des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite).

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	NOMS DES MACHINES.	DIAMÈTRE DES POMPES ALIMENTAIRES EN MÈTRES.	SECTION EN MÈTRES CARRÉS.	VOLUME D'UNE CYLINDRÉE D'UNE POMPE ALIMENTAIRE EN LITRES.	VOLUME D'UNE DOUBLE CYLINDRÉE DE VAPEUR EN LITRES.	COMPARAISON DES DÉPENSES D'EAU AUX VOLUMES FOURNIS — A 1 atmosphère effective. Poids de la vapeur dépensé pour un tour de roue, en kilog.	A 1 atmosphère effective. Rapport du poids de vapeur dépensé au poids de l'eau fourni par la pompe.	A 2 atmosphères effectives. Poids de la vapeur dépensé pour un tour de roue, en kilog.	A 2 atmosphères effectives. Rapport du poids de vapeur dépensé au poids de l'eau fourni par la pompe.	A 3 atmosphères effectives. Poids de la vapeur dépensé pour un tour de roue, en kilog.	A 3 atmosphères effectives. Rapport du poids de vapeur dépensé au poids de l'eau fourni par la pompe.	A 4 atmosphères effectives. Poids de la vapeur dépensé pour un tour de roue, en kilog.	A 4 atmosphères effectives. Rapport du poids de vapeur dépensé au poids de l'eau fourni par la pompe.
1	Jackson	Denys Papin	0.044	0.00152	0.623	50.40	0.056	10/111	0.081	10/77	0.106	10/58	0.130	10/47
2	Bury	La Seine	0.044	0.00152	0.630	51.04	0.057	10/110	0.082	10/76	0.107	10/58	0.132	10/47
3	Tayleur	Tayleur	0.046	0.00166	0.674	55.82	0.062	10/108	0.090	10/74	0.117	10/57	0.144	10/46
4	Haigh Foundry	Etna	0.046	0.00166	0.747	59.40	0.066	10/113	0.095	10/78	0.125	10/59	0.153	10/48
5	Hawthorn	Jean-Bart	0.045	0.00162	0.745	66.70	0.074	10/100	0.107	10/68	0.140	10/53	0.171	10/43
6	Stephenson	Stephenson	0.044	0.00152	0.699	66.70	0.074	10/94	0.107	10/65	0.140	10/49	0.171	10/40
7	Sharp et Roberts	Atlas	0.044	0.00152	0.699	73.51	0.080	10/87	0.118	10/59	0.154	10/43	0.189	10/36
8	Stehelin et Huber	Alsace	0.050	0.00196	0.902	72.08	0.080	10/112	0.116	10/77	0.151	10/59	0.186	10/48
9	Cavé (1)	Gauloise	0.068	0.00363	0.834	83.69	0.093	10/90	0.135	10/61	0.176	10/57	0.215	10/37
10	Rothwell	Bucéphale	0.048	0.00181	0.702	76.05	0.084	10/83	0.122	10/57	0.160	10/44	0.195	10/36
11	Schneider frères	Creusot	0.047	0.00173	0.796	78.57	0.087	10/91	0.126	10/63	0.164	10/48	0.202	10/39
12	Stehelin et Huber	Alcide	0.050	0.00196	0.902	78.57	0.087	10/103	0.126	10/72	0.164	10/55	0.202	10/44
13	Stephenson	Vesta	0.048	0.00181	0.814	76.86	0.085	10/95	0.124	10/65	0.161	10/50	0.197	10/41
14	Schneider frères	Exposition	0.055	0.00238	1.095	78.57	0.087	10/125	0.126	10/86	0.164	10/105	0.202	10/54
15	Jackson	Versailles	0.045	0.00162	0.745	78.57	0.087	10/85	0.126	10/59	0.164	10/45	0.202	10/36
16	Sharp et Roberts	Vésuve	0.044	0.00152	0.699	78.57	0.087	10/80	0.126	10/55	0.164	10/42	0.202	10/34

(1) Pour cette machine, la transmission du mouvement du piston au plongeur a lieu par l'intermédiaire de leviers dans le rapport de 0,655 à 0,740 + 0,655 = 1,395. Ce qui réduit la course de 0,49 à 0,23.

On voit par ce tableau que le diamètre des pompes alimentaires varie de 0,44 à 0,50.

Nous avons calculé le volume d'eau que chaque machine dépense, au minimum, aux différentes pressions, d'après la table donnée dans la note première, et nous l'avons comparé au volume fourni par les pompes alimentaires, en supposant qu'elles soient toutes deux en état de fonctionner: nous avons trouvé ainsi qu'à la plus grande pression (4 atmosphères effectives), qui existe très rarement pour remorquer des trains de voyageurs, les deux pompes pourraient fournir quatre et même six fois plus d'eau qu'il n'en est dépensé par le cylindre. Mais on comprend que ces rapports sont des minimum; car nous avons calculé rigoureusement le volume dépensé, sans tenir compte de toutes les pertes qui viennent augmenter cette dépense. En effet, les cylindres de la pompe alimentaire ne débitent jamais l'eau à pleine section, en raison des effets de contraction et de l'introduction de l'air aspiré par les joints dans le mouvement du plongeur: en outre, la chaudière peut perdre, soit par les joints des feuilles de tôle, soit par les tubes ou les viroles; une quantité notable d'eau mise en mouvement par l'ébullition est entraînée par la vapeur dans les cylindres : la vapeur elle-même, dont nous avons pris le volume comparé à celui de l'eau dans le tableau de la note première, est loin d'être sèche comme les calculs le supposent.

Au premier abord, les pompes alimentaires semblent trop puissantes; mais il est facile de se rendre compte des raisons qui ont obligé les constructeurs à exagérer ainsi les dimensions de ces appareils. D'abord, comme nous l'avons dit, on a mis deux pompes alimentaires, afin que l'une des deux suffit à l'alimentation de la chaudière dans le cas où l'autre serait hors de service. D'après cette hypothèse, le rapport $^1/_4$ ou $^1/_6$ devient $^1/_2$ ou $^1/_3$, c'est-à-dire que la quantité fournie serait encore plus de deux fois aussi grande que la quantité dépensée rigoureusement.

Cette latitude du simple au double permet de compenser toutes les pertes provenant de l'imperfection de la pompe et du supplément de dépense de l'eau qui se perd par les joints ou qui passe dans les cylindres, aussi bien que la vapeur qui s'échappe par les soupapes. Il est bien évident qu'une seule pompe suffit dans tous les cas, et que, quand toutes deux fonctionnent, les robinets de passage à la chaudière n'ont besoin de rester à pleine ouverture qu'une très petite fraction du temps de marche, ou bien que, si on les tient constamment ouverts, on doit diminuer de beaucoup leur section d'ouverture.

Le but de cette note était de prouver l'excès de puissance d'alimentation que le conducteur a à sa disposition: il lui est donc extrêmement facile de

maintenir l'eau dans la chaudière à un niveau convenable, en réglant la section de passage des robinets pour alimenter d'une manière continue ; ce qui est préférable.

Il n'est pas nécessaire de revenir sur les inconvéniens qu'il y a de remplir la chaudière à un niveau trop élevé, parce qu'elle se refroidit et laisse passer de l'eau dans les cylindres, ni de la laisser s'abaisser trop, de crainte de brûler la boîte à feu.

L'alimentation devra être faite d'une manière continue, à moins que dans le chemin il n'y ait des variations notables de pentes et de rampes. Dans ce cas, comme on sait que l'alimentation refroidit l'eau de la chaudière et diminue la production de la vapeur, on devra n'alimenter que dans les pentes et sur niveau, de manière à pouvoir fermer les robinets des pompes dans les rampes.



NOTE CINQUIÈME.

SUR LES SOUPAPES DE SURETÉ.

Nous avons donné déjà la construction des soupapes de sûreté et leur disposition. Nous parlerons ici du calcul de leurs dimensions et de la graduation des balances.

Le but des soupapes de sûreté est de limiter la pression de la vapeur dans la chaudière, en donnant issue à toute la vapeur qui se produit au-delà de cette tension.

La section d'écoulement fournie par une soupape de sûreté doit donc être telle qu'elle puisse dégager la plus grande quantité de vapeur que la chaudière puisse produire.

Dans les machines fixes, la formule suivante est appliquée par l'Administration des Ponts-et-Chaussées, pour déterminer le diamètre des soupapes de sûreté.

$$d = 2,6\sqrt{\frac{c}{n - 0,412}}$$

dans laquelle d représente le diamètre exprimé en centimètres, c, la surface de chauffe en mètres quarrés; n, la pression effective dans la chaudière exprimée en atmosphères.

Dans les machines locomotives, la pression étant de 4 atmosphères effectives, si on substitue cette valeur dans la formule et si l'on fait c = 1, on aura d = 1, c 37. La surface de cercle de ce diamètre est de 1, cq. 48. Ainsi, d'après la formule, il faudrait que la surface de la soupape contînt autant de fois 1, dq 48 qu'il y a de mètres quarrés dans la surface de chauffe totale de la chaudière [1].

Appliquons ces nombres aux soupapes des machines locomotives, et nous aurons le tableau suivant.

[1] La surface de chauffe réduite étant en moyenne les 0, 40 de la surface totale, chaque mètre de surface de chauffe réduite exigerait 4 cq. de surface de soupape.

TABLEAU des dimensions des soupapes de sûreté de quelques machines des chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), et des dimensions qu'elles devraient avoir d'après la formule de l'administration.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	SURFACE de CHAUFFE TOTALE	DIAMÈTRE DE LA SOUPAPE. CALCULÉ par la formule (1).	DIAMÈTRE DE LA SOUPAPE. réel.	RAPPORT DES SURFACES réelles à celles de la FORMULE.
		millim.	mill.	
Denys-Papin.	25.48	69.2	76	1.21
La Seine. . .	33.07	78.6	65	0.78
Tayleur. . . .	27.20	83.5	65	0.59
Etna.	42.37	89.0	64	0.53
Jean-Bart. . .	37.23	84.5	64	0.59
Stephenson. .	39.35	85.8	65	0.57
Atlas.	42.81	89.5	75	0.70
Alsace.	46.21	93.0	76	0.66
Gauloise. . . .	46.32	93.6	100	1.14
Bucéphale. . .	50.21	97.3	77	0.62
Creusot. . . .	50.48	97.4	76	0.61
Alcide.	52.74	99.4	76	0.58
Vesta.	52.44	99.3	101	1.03
Versailles. . .	58.04	104.5	90	0.74
Vésuve.	57.83	104.3	76	0.53
				moyenne.
				0.73

(1) $d = 2,6 \sqrt{\frac{c}{n - 0,412}}$.

On voit que la surface des soupapes est généralement inférieure à celle qui est donnée dans la formule, et cela dans le rapport de 3 à 4.

Pour qu'on puisse se rendre compte des inconvéniens que peut produire cette diminution de la surface d'écoulement sur celle indiquée par l'administration, nous rechercherons quelle quantité de vapeur peut s'échapper par les soupapes ainsi calculées. La surface de 1 c. 48 se réduit à 0,92, en supposant un coëfficient de contraction de 0,65. La vitesse d'écoulement de la vapeur à la tension de 5 atmosphères absolues est de 562$^{m.}$ par heure (page 207). Le poids du mètre cube de vapeur à cette tension est de 2$^{k.}$ 57; la quantité vapeur écoulée par heure et par cet orifice est donc de : $0,00148 \times 0,65 \times 562 \times 3600 \times 2^{k.}57 = 484^{k.}$ Or la production ordinaire

de vapeur est de 30 k. dansles machines fixes; c'est donc 16 fois autant de surface qu'il n'est nécessaire, et même 32 fois, puisque deux soupapes sont exigées. Il y a donc grand excès; mais l'exagération de dimension des soupapes est motivée, dans les machines fixes, par l'indépendance complète qui existe entre la production de la vapeur et le tirage, et ensuite à cause des productions instantanées de vapeur, qui ont lieu quand une mauvaise alimentation laisse découvertes pendant un certain temps des parties chauffées par la flamme.

Dans les machines locomotives, la production de vapeur, par surface élémentaire, dépasse de beaucoup celle qui est fournie par les machines fixes, puisqu'elle s'élève jusqu'à 80 k. par mètre quarré de surface totale, et jusqu'à 200 k. par m. q. de surface de chauffe réduite. Mais cette force de vaporisation n'existe qu'à la condition que la presque totalité de la vapeur passe par la cheminée et produise un tirage très énergique. Quand ce tirage cesse d'exister, et que la vapeur inutile ne passe pas par le tuyau d'échappement continu dans la cheminée, celle-ci a des dimensions tellement rétrécies, que la combustion est immédiatement arrêtée ou diminue dans un grand rapport.

On comprend alors que les dimensions adoptées pour les soupapes de sûreté soient suffisantes, et que les explosions sur les machines locomotives soient extrêmement rares.

La soupape de sûreté, dans les machines locomotives, sert encore de manomètre; la balance qui contient le ressort pouvant être serrée ou desserrée à volonté, le mécanicien peut déterminer à chaque instant la pression qui existe dans la chaudière. Cependant il est rare que ces balances soient réglées assez rigoureusement pour que l'on puisse y avoir confiance. Dans le cas où l'on voudrait faire des expériences, il faudrait faire usage du manomètre à mercure, et comparer ses indications à celles de la balance. Les pressions indiquées par la soupape ne présentent quelque exactitude qu'autant que la vapeur commence à s'échapper autour de la circonférence. Dans le cas, en effet, où la soupape est complètement fermée, il peut y avoir une certaine adhérence entre sa surface en contact et le siége métallique sur lequel elle repose, et cela modifie considérablement la pression réelle; quand, au contraire, la vapeur s'échappe avec force et ce qu'on appelle à *gueule-bée*, la surface réelle de la soupape s'augmente de celle des rebords qui reçoit dans ce cas la pression de la chaudière, et les indications de la balance ne sont plus exactes.

Une cause d'erreur non moins importante que la précédente, c'est la nécessité où l'on s'est trouvé d'employer un ressort au lieu de poids, comme dans les balances ordinaires. Ce ressort doit se comprimer pour que la sou-

pape se soulève; et quand celle-ci s'ouvre beaucoup, le ressort par la résistance toujours croissante qu'il oppose à la traction augmente naturellement la tension de la vapeur.

Les graduations de la balance adoptées par les constructeurs anglais indiquent les pressions en livres anglaises par pouce quarré.

Beaucoup d'entre eux donnent exactement au rapport des deux leviers des soupapes un nombre de pouces linéaires égal au nombre de pouces quarrés contenus dans la surface de la soupape, de m nière que la balance est réglée comme un peson ordinaire.

D'autres constructeurs, tout en adoptant cette manière de graduer, changent le rapport des leviers de manière que les chiffres d'indication sont purement proportionnels (Bury est de ce nombre).

En France on doit les régler seulement en atmosphères

En ne tenant pas compte du poids des leviers, de la balance ni de la soupape elle-même, la formule qui détermine la tension du ressort en kilogrammes suivant la surface de la soupape, la pression et le rapport des leviers est la suivante :

$$T = \frac{Sn \times 1^{k}{,}03}{r} \ (1).$$

S étant la surface de la soupape en centimètres quarrés,

N la pression effective en atmosphères,

R le rapport du grand levier au petit levier,

$1^{k}{,}03$ est d'ailleurs la pression d'un atmosphère par centimètre quarré.

Il y a plusieurs corrections à faire à cette tension pour tenir compte du poids constant de la soupape, du levier et de la balance. Ces poids s'exercent sur la soupape et doivent être retranchés du poids donné par la formule puisqu'il forment pression.

Si l'on part de la formule précédente, on tient compte du poids de la soupape en le divisant par le rapport des leviers pour avoir le moment de ce poids à l'extrémité du levier et le retrancher directement de la valeur T. Le poids du levier est supposé concentré à son centre de gravité et reporté à l'extrémité en raison inverse des distances au point de rotation. Enfin le poids de la balance doit se déduire directement. De sorte qu'en appelant T' la somme de tous ces poids on aura : $T' = P + \frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r}$. P était le poids de la balance, P' le poids du levier, r' le rapport de la longueur du grand levier à le distance du centre de gravité du levier au centre de rotation, P'' le poids

(1) La formule anglaise est $T \frac{sn}{r}$; T étant la tension du ressort e primée en livres anglaises; s la surface de la soupape en pouces carrés; r le rapport des leviers.

de la soupape et r étant comme dans la formule précédente le rapport des longueurs du grand et du petit levier. Ce poids constant peut s'obtenir soit par la formule, soit en se servant de la balance à ressort elle-même en suspendant le levier et la soupape à cette balance, en observant à quel point s'arrête l'aiguille, et soustrayant ensuite le poids de la balance directement.

Dans tous les cas on aura $T+T' = \frac{Sn \times 1\ k.\ 03}{r}$.

Ainsi s, r et T' étant connus on pourra obtenir les tensions du ressort T correspondant à chaque pression.

Une autre méthode est aussi appliquée quelquefois, et de la manière suivante : prenons pour exemple numérique la soupape de la machine de Jackson (*la Versailles*),

son diamètre est 0,^{m}090, surface =0,$^{m.q.}$ 006358,
son grand levier = 0,725, petit levier = 0,077.

Pour avoir le poids qui devra être appliqué directement sur la soupape suivant les diverses pressions, il faudra multiplier 63,58 par 1,03 pour chaque atmosphère, en sorte que pour 4 atmosphères la soupape devra être pressée par un poids égal à $63,58 \times 4^{k.}12 = 262,95$.

Avant de réduire ce poids en raison inverse des bras du levier, on commence par soustraire directement le poids de la soupape elle-même. Ce poids est environ $1^{k.}20$. Pour tenir compte du poids du levier on suspend à une balance romaine le levier par son point de contact avec la soupape elle-même, afin d'avoir le moment du poids qui presse directement sur la soupape : on trouve $10^{k.}$

On retranche donc la somme de ces deux poids : de 262,95 on obtient 250,75.

Ce poids reporté à l'extrémité du levier doit être diminué dans le rapport inverse des bras de levier. On posera donc la proportion :

$$250,75 : x :: 725 : 77.$$

$x = 26^{k},6$.

Il suffit ensuite de prendre le poids de la balance et de la soustraire directement de x, on aura de cette manière le poids qui devrait être suspendu à l'extrémité du levier ; et à l'aide d'une balance romaine graduée on marquera le point de division sur la balance à ressort de la soupape.

On passera par la même série d'opérations pour graduer la balance depuis 0 jusqu'à 4 atmosphères.

NOTE SIXIÈME.

DES RÉSISTANCES INHÉRENTES AU MOUVEMENT ET A LA DISTRIBUTION DE LA VAPEUR.

AVANCE DU TIROIR. — TUYAU D'ÉCHAPPEMENT CHEMINÉE ET CONDUITS DE FUMÉE.

Dans une note précédente nous avons présenté sous forme de tableaux les quantités de travail que des machines locomotives dont nous avons donné les dimensions sont en état d'effectuer.

Nous n'avons tenu compte que des résistances inhérentes au mécanisme; nous avons négligé toutes celles qui tiennent au mouvement de la vapeur et de la fumée.

En supposant dans nos calculs une réduction du quart de la quantité de vapeur produite, nous avons entendu tenir compte, par cette hypothèse, des résistances que nous ne calculions pas; en sorte que les quantités de travail que nous avons indiquées pour chaque machine sont à-peu-près égales à celles que donne l'expérience.

Dans cette note nous rechercherons les diverses résistances que produit le mouvement de la vapeur et de la fumée, et nous les apprécierons; nous ferons facilement ressortir les raisons qui s'opposent à ce que les machines actuelles dépassent certaines vitesses maximum, et à quel prix on obtient ces grandes vitesses.

L'importance de ces questions, jusqu'à présent très peu étudiées, aurait demandé plus de place que nous ne pouvons en consacrer à la fin de cet ouvrage; on ne sera donc pas étonné si nous n'entrons pas dans autant de détails que nous l'eussions desiré et que le sujet le comporte d'ailleurs. Du reste nous conserverons les mêmes méthodes de calcul que précédemment; c'est-à-dire, rejetant toute formule, nous tirerons nos conclusions d'après une série de tableaux et de résultats dont la composition peut être facilement comprise : mais si cette méthode est à la portée de tout le monde, elle est aussi plus restreinte.

Nous avons été souvent obligés, pour arriver à une conclusion, de passer par une série de suppositions dont l'exactitude ne se vérifiait que plus tard, successivement et les unes par les autres.

D'autres fois nous avons cru pouvoir nous appuyer sur des faits admis pour

les machines fixes, mais qui peuvent n'être pas rigoureusement exacts pour les machines locomotives.

Cependant les indications que nous avons tirées de ces calculs seront au moins proportionnelles et pourront ainsi éclairer la question.

Nous diviserons cette note en quatre sections, SAVOIR :

§ Ier. Du mouvement de la vapeur par les conduits, robinets et lumières.

§ II. Mouvement de la vapeur dans le tiroir, et disposition de celui-ci ; avance du tiroir, etc.

§ III. Du tuyau d'échappement et de la pression moyenne qu'il maintient contre le piston.

§ IV. Mouvement de l'air dans les tubes conducteurs de fumée, par la grille et dans la cheminée.

Nous terminerons enfin en déterminant les proportions qui nous paraissent les plus convenables à donner aux diverses parties de la machine pour tout ce qui regarde le mouvement de la vapeur et de la fumée.

Afin de simplifier les considérations dans lesquelles nous allons entrer, nous commencerons par admettre sans démonstration aucune que les vitesses d'écoulement de la vapeur et des gaz, en général, sont exactement celles qui sont indiquées par les formules d'écoulement des liquides, c'est-à-dire que les vitesses sont dues à une hauteur génératrice égale à celle d'une colonne de gaz d'une même densité qui ferait équilibre à la pression effective ou à la différence de pression entre les deux milieux.

Des vitesses de vapeur de près de 600 m. par 1'' se développent à chaque coup de piston dans la marche des machines locomotives ; très souvent il y a des écoulemens constans de vapeur à la vitesse de 530 m. par 1''.

L'imagination a peine à suivre de pareils faits, que l'on pourrait mettre en doute si l'infaillibilité du calcul, sous ce rapport, n'était pas confirmée par l'expérience. En effet, nous verrons par la suite quelle pression notable nous obtenons encore malgré ces vitesses si considérables ; de telle sorte que si elles n'étaient pas aussi fortes que nous le supposons, les résistances se perpétuant davantage entraveraient encore plus les machines et les empêcheraient d'effectuer leur travail ordinaire. Quoiqu'il semble extraordinaire de partir de vitesses de vapeur près de deux fois aussi grandes que la vitesse des ondes sonores dans l'atmosphère [1], on est forcé d'admettre complètement ces données, qui sont déjà énoncées dans la première note (pages 207 et 208), et dont nous faisons un fréquent usage aussi bien que des poids et volumes de la vapeur aux diverses tensions données dans le tableau (page 201).

[1] La vitesse de son dans l'atmosphère est de 333 m. par 1'' ; ainsi, un coup de canon tiré à 4000 m. n'est entendu à cette distance que 12'' après que la lumière a paru ; tandis qu'un jet de vapeur à 5 atm. s'écoulant dans l'atmosphère a une vitesse telle (562 m.), qu'il lui suffirait de 7'' pour parcourir le même espace.

Section I. — Du mouvement de la vapeur par les robinets, conduits et lumières.

Nous ne considèrerons dans cette section que les mouvements correspondans aux volumes engendrés par la marche du piston; et nous ne tiendrons aucun compte des augmentations ou diminutions que peuvent faire subir à ces volumes, des détentes après ou avant l'emploi de la vapeur.

Ainsi, par exemple, le régulateur n'est généralement qu'entr'ouvert, il ne laisse dans le tuyau de vapeur qu'une pression inférieure à celle de la chaudière. Le volume de vapeur (à la pression de la chaudière) qui passe dans le régulateur est donc plus petit que celui que reçoivent les conduits de vapeur ou les cylindres, comme aussi la vapeur qui passe au tuyau d'échappement n'étant pas à la même pression que dans le cylindre occupera un plus grand espace.

Dans cette section nous ne considèrerons que le volume engendré par la marche du piston, parceque c'est à la surface de celui-ci que nous rapporterons les sections des conduits. Nos calculs ne s'appliqueront qu'à la vapeur contenue dans les cylindres, parceque l'erreur que l'on commet pour les volumes de la vapeur dans les conduits des lumières et entre les fonds du cylindre et le piston est toujours faible; il n'y a donc pas lieu d'en tenir compte : et quant à la section de l'échappement, elle sera traitée spécialement dans les deux chapitres suivans.

Les principes généraux qui doivent guider le constructeur dans les dimensions des conduits de vapeur sont ceux-ci :

1° Les résistances et différences de pression qu'ils créent doivent être les moindres possibles, et en tout cas elles ne doivent pas mettre obstacle à la marche de la machine.

2° On doit éviter les contours brusques, les étranglemens, et tout ce qui peut être la cause de grands frottemens et d'une diminution de vitesse qui se traduit toujours par une différence de pression.

Ces règles générales sont d'abord applicables aux lumières du cylindre. Celles-ci doivent avoir assez de surface d'orifice pour que la pression dans le tuyau de vapeur soit la même que sur les pistons à des vitesses moyennes et pour lesquelles on peut avoir besoin de la pression initiale de la chaudière.

Nous donnons dans le tableau suivant la dimension des lumières de plusieurs machines des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles. Nous avons indiqué les rapports des surfaces à celles des pistons, et les vitesses d'écoulement. Celles-ci ont été prises pour une vitesse de 10 lieues à l'heure, qui est considérée comme moyenne.

D'un autre côté il était nécessaire de calculer les dépenses de vapeur au

moment où elles sont les plus fortes, c'est-à-dire au milieu de la course, parceque c'est aussi le seul moment où, pour quelques machines, la lumière soit complètement découverte.

Le rapport entre la vitesse du piston, au milieu de sa course, et la vitesse moyenne est donnée par le rapport de la demi-circonférence au diamètre, soit 1, 57.

L'orifice des lumières doit enfin être considéré comme percé en mince paroi, et par suite donner lieu à une contraction considérable qui peut être estimée en introduisant le coefficient de 0, 65.

TABLEAU 1. — Dimensions des lumières des machines locomotives des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles, indiquant le rapport de leur surface à celles des pistons, et les vitesses maximum d'écoulement de la vapeur pour une marche de dix lieues à l'heure.

NOMS DES MACHINES.	Surface d'un piston en décimètres carrés. (1-1)	DIMENSIONS DES LUMIÈRES			Rapport de la surface du piston à celle de la lumière. (2)	Rapport de la vitesse de la roue à celle du piston. (1)	VITESSE DES PISTONS en mètres par seconde.		VITESSE D'ÉCOULEMENT de la vapeur par seconde.	
		Longueur.	Largeur.	Surface réelle en décimètres carrés.			Moyenne. (4)	Maximum au milieu de la course. (3)	Sans contraction. (6)	Avec contraction. (5)
							m.			
Denys Papin.	6.15	0.150	0.025	0.38	16.2	5.90	1.88	2.95	48	73
Bury (7)...	6.15	0.106	0.027	0.29	21.2	5.54	1.90	2.98	63	97
Tayleur	6.88	0.170	0.034	0.58	11.8	6.50	1.71	2.68	32	50
Etna.......	6.60	0.236	0.029	0.69	9.5	6.45	1.72	2.70	26	40
Alsace.....	7.84	0.203	0.038	0.77	10.0	6.25	1.78	2.79	28	43
Gauloise....	8.54	0.190	0.036	0.68	12.5	5.34	2.12	3.33	42	64
Bucéphale ..	8.54	0.205	0.038	0.78	10.9	6.06	1.83	2.97	32	49
Creusot	8.54	0.180	0.030	0.54	15.8	5.70	1.95	3.06	48	74
Alcide......	8.54	0.203	0.038	0.77	11.1	6.25	1.78	2.79	31	47
Vesta.......	8.54	0.242	0.032	0.77	11.1	5.70	1.95	3.06	34	51
Schneider	8.54	0.200	0.030	0.60	14.2	6.25	1.78	2.79	40	61
Versailles...	8.54	0.235	0.028	0.66	13.0	5.70	1.95	3.06	40	61
Vésuve.....	8.54	0.192	0.043	0.83	10.3	5.72	1.94	3.04	31	48

(1) Extrait du tableau A, note deuxième.

(2) Cette colonne est obtenue en supposant la surface des lumières égale à l'unité.

(3) C'est la vitesse moyenne multipliée par 1.57.

(4) Est obtenue en divisant la vitesse de la machine en mètres par seconde par les chiffres de la colonne précédente.

(5) Le coefficient de contraction est 0.65.

(6) Est obtenue en se fondant sur ce que les vitesses sont en raison inverse des surfaces et en partant de la vitesse maximum du piston.

(7) Les lumières de ces machines étaient beaucoup trop petites, elles ont été augmentées.

Le rapport de la surface du piston à celle de la lumière varie de 1/10 à 1/16; il est en moyenne de $\frac{1}{13}$.

Les vitesses d'écoulement dépendent de la vitesse des pistons et du rapport précédent; elles sont par conséquent d'autant plus grandes que les roues motrices sont plus petites et les courses du piston plus grandes.

En résumé, pour les machines renfermées dans le tableau, ces vitesses varient de 45 à 75 m., et sont en moyenne de 60 m. par 1''.

En comparant ces vitesses et sections à celles que l'on donne dans la construction des autres machines à vapeur, on trouve beaucoup d'analogie; comme on peut s'en convaincre par l'inspection du tableau suivant appliqué à plusieurs machines à vapeur construites par Edwards dans les ateliers de Chaillot, et fonctionnant dans de bonnes conditions.

TABLEAU 2. — Dimensions des lumières et des vitesses maxima d'écoulement de la vapeur de cinq machines de différentes puissances construites dans les ateliers de Chaillot.

DÉSIGNATION.		Surface du piston en décimètres carrés.	DIMENSIONS DES LUMIÈRES. Longueur.	Largeur.	Surface réelle en décimètres carrés.	Rapport de la surface du piston à celle de la lumière.	VITESSE des pistons par seconde. Moyenne.	Maximum au milieu de la course	VITESSE d'écoulement de la vapeur par seconde. Sans contraction.	Avec contraction.
		dq.	mètres.	mètres.	d.q.		m.	m.	m.	m.
MACHINE DE CENT CHEVAUX D'ABAINVILLE.										
A 1 cylindre.	Lumière	63.6	0.200	0.110	2 20	20	1.25	1.96	57 ½	87
	Soupape d'admission	»	diam. 0. 18	diam. 0. 18	2 56	25	»	»	49	75
DE TRENTE CHEVAUX. ATELIER DU CHEMIN DE FER DE SAINT-GERMAIN.										
A 2 cylindres.	Grand cylindre	25.7	0.215	0.052	1.12	23	1.20	1.88	43	66
	Petit cylindre	10.2	0.085	0.052	0.44	23	1.20	1.88	43	66
Autres usines.	DE VINGT CHEVAUX.									
	Grand cylindre	21.6	0.218	0.043	0.94	23	1.13	1.77	41	63
	Petit cylindre	9.1	0.074	0.043	0.32	28	1.13	1.77	49	75
	DE DOUZE CHEVAUX.									
	Grand cylindre	1.45	0.145	0.040	0.56	26	1.00	1.57	41	63
	Petit cylindre	0.49	0.050	0.040	0.20	25	1.00	1.57	39	60
	DE SIX CHEVAUX.									
	Grand cylindre	0.96	0.100	0.030	0.30	32	0.85	1.33	43	66
	Petit cylindre	0.28	0.040	0.030	0.12	23	0.85	0.33	31	47

D'après ce tableau, qui est établi de la même manière que le précédent, la section des lumières ne serait que de 1/25 de la surface du piston. L'avantage sous ce rapport resterait complètement aux machines locomotives si la vitesse de marche des pistons n'était beaucoup plus considérable : elle est de 3 mètres en moyenne au lieu de 1 m. 60. Ceci rétablit l'égalité, car les vitesses moyennes du passage de la vapeur sont de 60 m. par 1" dans les machines que nous venons de citer comme dans les machines locomotives.

Cette vitesse exige une pression génératrice qui varie suivant la densité de la vapeur : ainsi en employant de la vapeur à 4 atm. elle est de 0 atm. 04 (page 208 [1]) ; avec de la vapeur à 1 atm., elle n'est plus que de 0 atm. 01.

En supposant que la vitesse de marche de la machine soit doublée et portée à 20 lieues à l'heure, les vitesses de passage s'élèveront à 120 m. ; ce qui correspondrait à une différence de 0 atm. 15 pour la vapeur à 4 atm., et de 0 atm. 045 seulement pour la vapeur à la pression atmosphérique.

La pression réellement nuisible étant celle qui se manifeste à la sortie, on voit qu'elle est insignifiante, même aux grandes vitesses, en ce qui concerne le débit du volume engendré par la marche des pistons et la vitesse d'écoulement qui en résulte, puisqu'à 20 lieues, qui est la vitesse maximum des machines, la vitesse de la vapeur n'exige qu'une pression génératrice de 0 atm. 045.

La différence de pression de la vapeur à l'entrée n'a aucune influence fâcheuse ; car à une vitesse de 10 lieues, à laquelle quelques machines peuvent marcher à pleine pression sur le piston, cette vitesse n'entraîne qu'une différence de pression de 1/25 d'atmosphère seulement.

A de plus grandes vitesses cette différence s'augmente il est vrai, mais alors la chaudière n'a pas assez de force de vaporisation pour remplir la cylindrée à pleine vapeur ; qu'importe alors qu'une partie de l'étirage nécessaire soit faite par la lumière en même temps que par le régulateur !

Ainsi, d'un côté, résistance presque nulle contre le piston, même à de grandes vitesses ; de l'autre, simple étirage insensible par la lumière d'entrée aux vitesses ordinaires, et n'ayant aucun effet fâcheux aux grandes vitesses, parcequ'il est bien loin d'atteindre l'étirage de vapeur qui est nécessaire dans ce cas.

Des lumières ayant une section égale à 1/13e de la surface du piston, et n'offrant pas à une marche de 10 lieues à l'heure une vitesse maximum de passage de vapeur de 60 m. par 1", sont donc convenables et ne sont pas un obstacle à l'accélération de marche de la machine.

[1] C'est encore par des intercalaires que nous obtenons ce chiffre, en observant que pour de la vapeur à 4 atmosphères s'échappant dans un milieu à 3 atm. 95, c'est-à-dire pour une différence de pression de 0,05, nous avons une vitesse de 69 mètres ; nous déduisons ainsi que la vitesse de 60 m. sera produite par une différence de pression de 0,04.

La surface de passage de la vapeur dans les conduits ne doit pas être diminuée; elle sera de 1/13e au moins de la surface du piston pour l'un des conduits et du double pour les deux.

La section maximum de passage dans le régulateur doit être au moins égale à la section du conduit principal de vapeur; avec ces dimensions on peut maintenir sur le piston la pression complète de la chaudière à des vitesses ordinaires. Cela est rarement nécessaire pour les machines destinées au service des voyageurs et qui remorquent généralement des convois beaucoup moins lourds que leur force maximum, aussi n'ouvre-t-on presque jamais le régulateur complètement.

Ce que nous avons dit pour les lumières s'applique exactement aux conduits de vapeur et au régulateur. Exécutés dans les dimensions que nous indiquons, ils n'offrent aucun obstacle à la marche de la machine, et un seul chiffre prouvera plus à ce sujet que tout ce que nous venons de dire. L'orifice supérieur du tuyau d'échappement dans la cheminée a une surface qui varie entre 1/36 et 1/68 de celle des deux pistons : elle doit laisser passer un volume considérable, puisque la vapeur est détendue à une faible pression ; la section des conduits de vapeur est 1/13 de celle du piston, elle ne sert qu'à des vapeurs très comprimées et très denses. La résistance de cette dernière serait donc encore nulle quand l'autre pourrait être considérable.

Section II. — Mouvemens de la vapeur par les tiroirs. Avance du tiroir et recouvrement.

Le tiroir qui distribue la vapeur devant et derrière le piston est mis en mouvement par un excentrique monté sur l'essieu coudé de la machine et placé à angle droit avec la manivelle quand il est calé d'une manière normale, c'est-à-dire sans avance.

La manivelle étant au point mort, l'excentrique est vertical et par conséquent au milieu de sa course; il en résulte que les deux lumières sont fermées. Le mouvement continuant, le tiroir s'ouvre rapidement, tandis que le piston n'avance d'abord que faiblement ; quand celui-ci arrive au milieu de sa course sa marche est alors rapide, l'excentrique au contraire est au point mort, le tiroir reste presque immobile et à la plus grande ouverture.

Le mouvement angulaire de la roue étant supposé uniforme et divisé en arcs de 5° par exemple , le volume engendré par le piston pendant chaque arc croîtra d'une manière rapide et restera ensuite stationnaire : les ouvertures des lumières croîtront aussi rapidement et resteront également stationnaires. La marche de ces deux appareils est donc proportionnelle, elle est même rigoureusement semblable. En effet, si l'on donne à la lumière une largeur égale à la demi-course du tiroir, et si l'on détermine la vitesse d'écou-

lement de la vapeur pour chaque arc de 5°, on trouve que cette vitesse est constante. Les calculs que nous avons donnés pour l'ouverture maximum du tiroir et pour la vitesse maximum du piston (dans le tableau 1) s'appliqueront dans ce cas à toutes les positions.

Pour arriver au résultat précédent d'une manière pratique, il était nécessaire de déterminer la marche du piston et celle du tiroir pour chaque arc de 5° : voulant rester à un point de vue général, nous avons supposé que les bielles avaient une très grande longueur et que la course des pistons et celle des tiroirs étaient exactement représentées par les projections sur la ligne d'axe de la machine des diverses positions des manivelles.

En considérant les mouvemens du tiroir par rapport au milieu de la course, le chemin parcouru par arc est représenté par les sinus des angles totaux à partir du commencement.

Les chemins parcourus par le piston à partir du point mort peuvent être pris comme les complémens des premiers.

Dans le tableau suivant nous donnons ces chemins parcourus totaux et partiels par arcs de 5° mesurés à partir du point mort pour le piston et à partir du milieu de la course pour le tiroir. Ces nombres sont d'abord fixés par rapport au diamètre pris comme unité ; on les a ensuite appliqués aux courses de 0,46 pour le piston et de 0,07, 01,08 et 0,09 pour les tiroirs (les courses de 0,46 pour le piston, et de 0,07 pour le tiroir sont celles de la machine *Versailles*, sur laquelle s'appliquent nos calculs).

TABLEAU 3.

Mouvement absolu du piston et du tiroir par arcs de 5° en 5° avec application spéciale à la course du piston de 0.46 c. et aux courses des tiroirs de 0.07 c., 0.08 c. et 0.09 c.

	MOUVEMENT DU PISTON à partir du point mort.				MOUVEMENT TOTAL DU TIROIR à partir du milieu de la course.				
	RAPPORT à la course totale DU PISTON		QUANTITÉ réelle parcourue par le piston dont la course est de 0.46.			FRACTION de la COURSE parcourue après chaque arc de 5°.	QUANTITÉ RÉELLE parcourue, la course totale du tiroir étant de		
DEGRÉS °	TOTAL à partir du point mort.	PARTIEL après chaque arc de 5°.	TOTALE à partir du point mort.	PARTIELLE après chaque arc de 5°.	DEGRÉS °		0.07	0.08	0.09
			mètres.	mètres.			millim.	millim.	millim.
0	0.0000				0	0.0000			
5	0.0019	0.0019	0.0009	0.0009	5	0.0436	3.05	3.49	3.92
10	0.0076	0.0057	0.0035	0.0026	10	0.0868	6.08	6.94	7.81
15	0.0172	0.0096	0.0079	0.0044	15	0.1294	9.06	10.35	11.65
20	0.0302	0.0130	0.0139	0.0060	20	0.1710	11.97	13.68	15.39
25	0.0469	0.0167	0.0216	0.0077	25	0.2113	14.79	16.00	19.02
30	0.0670	0.0201	0.0308	0.0092	30	0.2500	17.50	20.00	22.50
35	0.0905	0.0235	0.0416	0.0108	35	0.2868	20.08	22.94	25.81
40	0.1170	0.0265	0.0538	0.0122	40	0.3214	22.50	25.75	28.93
45	0.1465	0.0295	0.0674	0.0136	45	0.3535	24.73	28.28	31.82
50	0.1786	0.0321	0.0821	0.0147	50	0.3830	26.81	30.64	34.47
55	0.2132	0.0346	0.0981	0.0160	55	0.4095	28.67	32.76	36.85
60	0.2500	0.0368	0.1150	0.0169	60	0.4330	30.31	34.64	38.97
65	0.2887	0.0387	0.1338	0.0178	65	0.4531	31.72	36.25	40.78
70	0.3290	0.0403	0.1513	0.0185	70	0.4698	32.89	37.58	42.28
75	0.3706	0.0416	0.1705	0.0192	75	0.4829	33.80	38.63	43.46
80	0.4132	0.0426	0.1900	0.0195	80	0.4924	34.47	39.39	44.32
85	0.4564	0.0432	0.2100	0.0200	85	0.4981	34.87	39.85	44.83
90	0.5000	0.0436	0.2300	0.0200	90	0.5000	35.00	40.00	45.00

Nous ne donnons le calcul que pour un quart de circonférence effectuant une demi-course, parceque les espaces parcourus par le piston aussi bien que les ouvertures successives du tiroir se reproduisent symétriquement à partir de l'angle de 90°.

Il est une seule colonne dont le prolongement est nécessaire pour déterminer la fraction de la course à laquelle se fait la détente; nous la prolongerons jusqu'à 180° dans le tableau suivant :

TABLEAU 3 bis.

Mouvement absolu du piston, rapporté à la course totale, à partir de 90° et par arcs de 5° en 5°, pour faire suite à la colonne correspondante du Tableau 3.

ANGLES.	FRACTION de la course parcourue à la fin de CHAQUE ARC, à partir du point mort.	ANGLES.	FRACTION de la course parcourue à la fin de CHAQUE ARC, à partir du point mort.	ANGLES.	FRACTION de la course parcourue à la fin de CHAQUE ARC, à partir du point mort.
90°	0.5000	125°	0.7868	155°	0.9531
95	0.5436	130	0.8214	160	0.9698
100	0.5868	135	0.8535	165	0.9828
105	0.6294	140	0.8830	170	0.9924
110	0.6710	145	0.9095	175	0.9981
115	0.7113	150	0.9330	180	1.0000
120	0.7300				

Avec le tableau précédent, il est facile de vérifier le fait que nous avons énoncé ; savoir : que l'excentrique étant placé d'équerre sur la manivelle, et la largeur de la lumière étant égale à la demi-course du tiroir, la vitesse d'écoulement est constante ; il suffira pour s'en assurer de diviser les chiffres de la troisième colonne par les ouvertures moyennes de la lumière et correspondantes aux mêmes arcs.

Ainsi, par exemple, de 25° à 30°, la course est 0,0201; l'ouverture moyenne du tiroir est comprise entre 0,2113 (ouverture à 25°), et 0,2500 (ouverture à 30°, elle est donc égale à $\frac{0,2113+0,2500}{2}=0,2306$, le quotient $\frac{0,0201}{0,2306}=0,087$.

Ce chiffre de 0,087 se répétera en effectuant le même calcul pour les autres arcs. La surface du piston étant constante d'un côté, et de l'autre la longueur du tiroir restant la même, il en résulte que les vitesses sont bien représentées par le quotient abstrait précédent, et sont par conséquent constantes.

Dans l'application, cependant, il est rare que la lumière soit aussi large que la moitié de la course du tiroir ; ordinairement elle est plus faible, et le tiroir dans sa marche dépasse les bords de la lumière : l'ouverture reste ainsi

complète pendant plusieurs arcs. La vitesse maximum est alors naturellement au milieu de la course; et toutes les autres sont inférieures, mais dans une assez faible proportion. Nos calculs sur les résistances de la vapeur par la lumière seront alors plutôt exagérés que restreints.

En second lieu les tiroirs présentent souvent un recouvrement dont la mesure s'établit en plaçant le tiroir au milieu de sa course, et en prenant la quantité dont il dépasse le bord de la lumière, soit en dehors pour l'introduction de la vapeur, soit en dedans pour l'échappement.

Ce recouvrement est de $^1/_2$ millimètre en général et de chaque côté; son effet est de restreindre les ouvertures et par suite d'augmenter les vitesses, mais dans une faible proportion.

Dans les machines locomotives on a reconnu l'utilité de faire précéder le départ du piston par la distribution, ce qui modifie complètement les vitesses d'écoulement; c'est ce que l'on nomme l'avance du tiroir.

L'avance du tiroir, d'après la méthode employée dans les ateliers, est la quantité dont la lumière d'introduction est ouverte au commencement de la course.

Cette ouverture prématurée a lieu en calant l'excentrique dans une position inclinée sur l'avant, de manière à ce qu'au point mort le tiroir ait déjà dépassé le milieu de la course.

Pour rester dans des termes plus généraux, nous appellerons *avance du tiroir* l'angle que l'excentrique forme sur l'essieu coudé avec la position qu'il devrait avoir pour la marche normale et sans avance.

Cette définition est générale, même pour la position normale de l'excentrique: parcequ'on sait que si la barre d'excentrique est inclinée, l'excentrique dans sa position normale ne sera pas calé d'équerre avec la manivelle; mais qu'il en diffèrera de l'angle que la barre d'excentrique fait avec l'horizon.

Nous ne reviendrons pas du reste sur ces considérations, qui ont été développées dans le courant de l'ouvrage.

L'avance du tiroir, ainsi déterminée par l'angle que forme l'excentrique en avant de sa position normale, donne des effets très faciles à analyser. La position des tiroirs, que nous avons déterminée dans le tableau 3, se trouve avancée d'un certain nombre de degrés. Ainsi, quand on a une avance de 25° par exemple, au 10ᵉ degré de la marche du piston correspondra le 35ᵉ degré de l'ouverture des tiroirs; au 155ᵉ on aura la position de 180° ou le tiroir fermé, et à 160° il est ouvert en sens inverse de 5°; enfin à 0°, ou au point mort, le tiroir est ouvert comme à 25°.

Par suite de cette ouverture prématurée de toutes les lumières, on arrive aux résultats suivans.

Pour l'entrée de vapeur, l'ouverture est beaucoup plus grande pour les premiers arcs ; et la pression sur le piston s'établit sans entrave.

La lumière commence à se refermer avant le milieu de la course; la vitesse de la vapeur augmente jusqu'à devenir infinie : quand le tiroir se referme 25° avant la fin de la course, la lumière d'admission s'ouvre de l'autre côté; et le piston marche à contre vapeur pendant ces 25°.

La lumière d'échappement au commencement de la course est déjà très ouverte, et elle permet ainsi le facile dégagement de la vapeur très dense qui doit se détendre à la pression atmosphérique.

La lumière d'échappement commence à se fermer à partir du milieu de la course et empêche la vapeur restante encore dans le cylindre de s'écouler. A 25° avant la fin elle se ferme et s'ouvre immédiatement du côté opposé, de manière que le piston finit sa course à contre-vapeur.

De ces effets, trois seulement sont influens :

1° Le dégagement prématuré de la vapeur, qui évite une résistance considérable;

2° La contre-vapeur qui nuit évidemment au travail de la machine ;

3° La fermeture prématurée de la lumière, qui économise une partie de la vapeur et la fait agir par détente.

On peut éviter en grande partie la contre-vapeur en donnant du recouvrement extérieur au tiroir, et en même temps ce recouvrement permettant d'intercepter plutôt la vapeur diminue la quantité consommée. On évite donc un inconvénient, et on trouve un avantage en donnant du recouvrement du côté de l'entrée de vapeur.

Pour étudier maintenant les vitesses de passage dans les lumières on peut partir du tableau 4 calculé pour la machine *la Versailles*, construite par Jackson.

Dimensions générales de la machine.

Diamètre du piston. .	0 m. 330,	surface. . .	0, m.q. 0855 = 8 d.q. 55.
Course.	0 m. 46,	volume d'une cylindrée. .	39 d.c. 33.
Diamètre des roues. .	1 m. 67,	circonférence.	5 m. 246.
Lumières, longueur .	0 m. 235,	contraction.	0 m. 65.
Longueur réduite. . .	0 m. 153,	largeur maximum	0 m. 028.
Course de l'excentrique.	0 m. 070.		

Le tableau étant fait par arc de 5°, ou par 1/72 de la circonférence, à 10 lieues, ou 40 kilom. à l'heure, ou 11 m. 111 par 1'', la machine fait $\frac{11 \text{ m. } 111}{5 \text{ m. } 240} = 2$ tours, 118, et parcourt $2,118 \times 72 = 152$ arcs de 5° par 1''. Chaque arc de 5° est donc parcouru en 1/152 de 1''.

Le volume développé par la marche du piston pendant chaque arc est

facilement connu au moyen des chiffres donnés dans le tableau 3, multipliés par la surface du piston ; la course des lumières est donnée dans le même tableau : il suffit d'en défalquer le recouvrement pour avoir l'ouverture à la fin de chaque arc. En multipliant par la longueur réduite 0,153 on a la surface réduite par la contraction.

Enfin c'est la surface moyenne de la lumière pendant deux arcs successifs qui doit être seule considérée pour le calcul de la vitesse de la vapeur écoulée pendant l'arc de 5°. Cette vitesse s'obtient en divisant le volume écoulé par la surface. C'est la vitesse par arc de 5°, ou par 1/152 de seconde. La vitesse par seconde est 152 fois plus forte ; ces vitesses figurent dans le tableau suivant, aux colonnes sept, dix et treize. C'est ainsi qu'a été fait pour tous les arcs le calcul des vitesses ; nous ne donnons ici que le calcul déjà réduit, mais il sera facile de vérifier l'opération.

Ces vitesses sont déterminées pour la machine dans trois hypothèses :

1° Sans avance ni recouvrement (ou plutôt, ce qui est à-peu-près de même, avec un recouvrement de 1/2 millimètre, pour être certain que la vapeur ne passe pas directement de la chaudière dans le tuyau d'échappement).

2° Avec une avance de 25° et un recouvrement de 1/2 millimètre intérieurement et extérieurement.

3° Avec une avance de 25° et un recouvrement de 10 millim. 1/2 correspondant à 17° 1/2, ou tel que la lumière d'introduction ne s'ouvre que de 7° 1/2 seulement avant la fin de la course du piston.

(Ces calculs servent pour les entrées de vapeur des machines dont la distribution est réglée le plus convenablement.)

TABLEAU 4.

Surfaces moyennes des lumières et vitesses de passage déterminées par arcs de 5° par les tiroirs de la machine Versailles : 1° sans avance ; 2° avec avance de 25° et recouvrement de 1/2 mm. ; 3° avec avance de 25° et recouvrement de 10 mm. 1/2 (pour une vitesse de marche de 10 lieues à l'heure).

ANGLES EN DEGRÉS.	COURSE PARTIELLE DU PISTON pendant le dernier arc de 5°.	VOLUME PARTIEL ENGENDRÉ PAR LE PISTON pendant le dernier arc de 5°.	TIROIR. Course totale à partir du milieu.	SANS AVANCE RECOUVREMENT DE 1/2 MILLIMÈTRE			AVANCE de 25°. RECOUVREMENT DE 1/2 MILLIMÈTRE.			AVANCE de 25°. RECOUVREMENT DE 10 1/2 MILLIMÈTRES.		
				Ouverture de la lumière à la fin de chaque arc.	Surface moyenne réduite de la lumière pendant le dernier arc de 5°.	Vitesse moyenne de la vapeur par 1″ pendant le dernier arc.	Ouverture de la lumière à la fin de chaque arc.	Surface moyenne réduite de la lumière pendant le dernier arc de 5°.	Vitesse moyenne de la vapeur par 1″ pendant le dernier arc.	Ouverture de la lumière à la fin de chaque arc.	Surface moyenne réduite de la lumière pendant le dernier arc de 5°.	Vitesse moyenne de la vapeur par 1″ pendant le dernier arc.
	mètres	décim.c.	milli	millim	déci.q.	mètres	millim	déci.q.	mètres	millim	déci.q.	mètres
0	0.0000	0.00000	0,0	0.0	0.0	0	14.3		0	4.3		0
5	0.0009	0.07695	3.0	2.5	0.0198	59	17.0	0.2372	5	7.0	0.0872	13
10	0.0026	0.22230	6.0	5.5	0.0612	55	19.6	0.2800	12	19.6	0.1270	27
15	0.0044	0.37620	9.0	8.5	0.1071	53	22.0	0.3182	18	12.0	0.1652	35
20	0.0060	0.51300	12.0	11.5	0.1530	51	24.3	0.3534	22	14.3	0.2004	39
25	0.0077	0.65825	14.8	14.3	0.1974	51	26.3	0.3871	26	16.3	0.2310	43
30	0.0092	0.78660	17.5	17.0	0.2372	50	28.0	0.4146	28	18.2	0.2632	45
35	0.0108	0.92340	20.1	19.6	0.2800	59	28.0	0.4284	33	19.8	0.2907	48
40	0.0122	1.04310	22.5	22.0	0.3182	50	28.0	0.4284	37	21.5	0.3137	50
45	0.0136	1.16280	24.8	24.3	0.3534	50	28.0	0.4284	41	22.4	0.3335	52
50	0.0147	1.23685	26.8	26.3	0.3871	50	28.0	0.4284	44	23.3	0.3488	54
55	0.0160	1.36800	28.7	28.0	0.4145	50	28.0	0.4284	48	24.0	0.3611	57
60	0.0169	1.44495	30.3	28.0	0.4284	51	28.0	0.4284	51	24.4	0.3702	59
65	0.0178	1.52190	31.7	28.0	0.4284	54	28.0	0.4284	54	24.5	0.3749	61
70	0.0185	1.58175	32.9	28.0	0.4284	56	28.0	0.4284	55	24.4	0.3733	64
75	0.0192	1.64160	33.8	28.0	0.4284	58	28.0	0.4284	57	24.0	0.3702	67
80	0.0195	1.66725	34.5	28.0	0.4284	59	28.0	0.4284	58	23.3	0.3612	70
85	0.0200	1.71000	34.9	28.0	0.4284	61	28.0	0.4284	60	22.4	0.3488	74
90	0.0200	1.71000	35.0	28.0	0.4284	61	28.0	0.4284	60	21.2	0.3335	77
95	0.0200	1.71000	34.9	28.0	0.4284	61	28.0	0.4284	60	19.8	0.3137	82
100	0.0199	1.70255	34.5	28.0	0.4284	61	28.0	0.4284	60	18.2	0.2907	88
105	0.0196	1.67580	33.8	28.0	0.4284	59	26.3	0.4146	61	16.3	0.2632	97
110	0.0192	1.64160	32.9	28.0	0.4284	58	24.3	0.3871	64	14.3	0.2310	108
115	0.0185	1.58175	31.7	28.0	0.4284	56	22.0	0.3534	67	12.0	0.2004	118
120	0.0178	1.52190	30.3	28.0	0.4284	54	19.6	0.3182	72	9.6	0.1652	138
125	0.0169	1.44495	28.7	28.0	0.4284	51	17.0	0.2800	78	7.0	0.1270	171
130	0.0159	1.35945	26.8	26.3	0.4146	50	14.3	0.2372	84	4.3	0.0872	240
135	0.0148	1.26540	24.8	24.3	0.3871	50	11.5	0.1971	96	1.5	0.0444	433
140	0.0136	1.16280	22.5	22.0	0.3534	50	8.5	0.1530	114	0	0.0107	1635
145	0.0122	1.04310	20.1	19.6	0.3182	50	5.5	0.1071	146	lumière ferm.	»	détente
150	0.0108	0.92340	17.5	17.0	0.2800	50	2.5	0.0612	220		»	
155	0.0092	0.78660	14.8	14.3	0.2372	50	0.0	0.0191	734		»	
160	0.0077	0.65835	12.0	11.5	0.1974	51	−2.5	0.0191	contre vapeur.		»	
165	0.0060	0.51300	9.0	8.5	0.1530	51	−5.5	1.0612			»	
170	0.0044	0.37620	6.0	5.5	0.1071	53	−8.5	0.1071			»	
175	0.0028	0.23940	3.0	2.5	0.0612	59	-11.5	0.1530		-1.5	0.0107	contre vapeur
180	0.0007	0.05985	0.0	0.0	0.0163	55	-14.3	0.1971		-4.3	0.0444	

Ce tableau est d'une composition facile ; les 2e et 4e colonnes sont copiées

textuellement du tableau 3, et donnent les courses partielles, par arc, d'un piston dont la course totale est de 0,46, et celle d'un tiroir dont la course est de 0,070.

Les volumes déterminés par la marche du piston s'obtiennent immédiatement au moyen de la surface de celui-ci qui est de 8 d. q. 55 en multipliant les chiffres de la colonne précédente par 8 d. q. 55. L'ouverture de la lumière est donnée par la course du tiroir à partir du milieu en défalquant le recouvrement tel que nous l'avons supposé, c'est ainsi que se composent les 5e, 8e et 11e colonnes.

L'ouverture moyenne au milieu de chaque arc, multipliée par la longueur réduite de la lumière 1 d. 53, donne la surface moyenne entre chaque arc qui compose les 6e, 9e et 12e colonnes.

Enfin le quotient du volume écoulé par arc, divisé par la surface moyenne, donne la vitesse par arc ou par 1/152 de seconde; puis multipliant ce quotient par ce dernier chiffre on a la vitesse d'écoulement qui figure dans les 7e, 10e et 13e colonnes.

En adoptant l'avance de 25° on reconnaitra que les ouvertures de la lumière sont les mêmes que quand il n'y a pas d'avance en remontant toutes ces ouvertures de 25°, en sorte que l'ouverture à 0° avec l'avance est la même que l'ouverture à 25°. De même que l'ouverture à 25° est la même que celle que nous avons donnée à 50° sans avance.

L'ouverture du tiroir a été limitée par la largeur de la lumière de 28 mm.

Nous avons marqué enfin par le signe — les ouvertures prématurées quand il y a avance.

Les vitesses d'écoulement ont dans ces trois dispositions des caractères bien différens.

Dans le 1er cas, sans avance, les vitesses sont presque constantes et le seraient tout-à-fait s'il n'y avait pas un petit recouvrement, et de plus si la lumière était exactement aussi large que la 1/2 course.

Dans la marche avec avance sans recouvrement, la vitesse de la vapeur est d'abord très-faible : elle croît jusque vers le milieu, en restant la même que dans la marche sans avance ; puis elle s'accroît d'abord lentement et enfin assez fortement dans les derniers arcs avant la fermeture complète qui a lieu à 155° (8e colonne).

Quand enfin le recouvrement est joint à l'avance, toutes les vitesses de vapeur sont plus fortes que dans les mêmes positions sans recouvrement ; mais toujours au commencement elles sont faibles. Déjà au milieu elles commencent à croître, parceque dans la machine *Versailles* la course du tiroir est restreinte ; puis, à partir du milieu, elles augmentent rapidement, et sont déjà fort considérables bien avant la fermeture complète qui a lieu à 137° (intercalaire de la 1re colonne entre 135 et 140°).

La conséquence de cette progression qui devient si rapide c'est que la détente se fait de plus en plus tôt à mesure que la vitesse augmente, parcequ'il n'entre plus par la lumière que des parties trop faibles comparativement à ce qui serait nécessaire. Cette détente par étirage des lumières à de grandes vitesses n'a pas d'inconvéniens, la vapeur pouvant toujours arriver à pleine pression sur le piston au commencement de la course.

Nous donnons les vitesses des derniers arcs pour une marche de 10, 15, 20 et 25 lieues par heure.

TABLEAU 5.

Vitesses de passage de la vapeur dans le tiroir de la machine Versailles ayant une avance de 25 c, un recouvrement de 10 mm 1/2 et une vitesse de 10, 15, 20 et 25 lieues à l'heure.

ANGLES.	VITESSES EN LIEUES PAR HEURE.			
	10	15	20	25
	en mètres.	en mètres.	en mètres.	en mètres.
90	77	103	154	185
95	82	109	164	197
100	88	117	176	211
105	97	129	194	233
110	108	144	216	259
115	118	157	236	283
120	138	184	276	331
125	171	228	342	410
130	240	320	480	576
135	433	577	866	1039
140	1635	2580	3270	3924
145	«	«	«	«

Ces vitesses devraient exister pour que la pression sur le piston se maintînt complète; mais comme elles exigeraient des différences énormes de pression pour exister elles-mêmes, il en résulte qu'une faible portion de la vapeur est admise et qu'il y a étirage par la lumière et détente dans le cylindre de la vapeur qui y est contenue.

Le point où l'on peut considérer que la détente a lieu peut être pris à partir de 200 mètres de vitesse.

Il en résulte qu'à 10 lieues la détente se fait après. . . . . . 125°
15 lieues. . . . . après. . . . . 120°
20 lieues. . . . . après. . . . . 110°
25 lieues. . . . . après. . . . . 100°

Nous ne répétons pas ces calculs pour l'avance de 25° sans recouvrement. parceque ce n'est pas une disposition aussi convenable que la précédente quant à l'entrée de vapeur. Cette disposition s'applique exclusivement à la lumière de sortie pour laquelle il résulte de l'absence du recouvrement que les vitesses s'accroissent à partir du milieu, mais dans une progression bien moins rapide. Sans doute à partir du milieu de la course du tiroir la vapeur ne s'échappe plus aussi facilement, et quand le tiroir est fermé celle qui reste se comprime jusqu'à ce que l'autre lumière s'ouvre et donne accès à la vapeur mais cette compression de la vapeur déjà détendue n'offre pas de grands inconvénients parcequ'elle a lieu en un point où le piston a peu d'action, et que la vapeur a de la place pour se comprimer et se refouler dans les conduits des lumières.

En résumé, l'avance du tiroir même avec recouvrement facilite l'admission de la vapeur parcequ'elle ne nécessite que de faibles vitesses de vapeur dans le commencement; si plus tard ces vitesses s'augmentent, elles ont un bon effet: celui de faire une détente plus grande.

Les diverses tensions de la vapeur dans un cylindre peuvent être établies ainsi en moyenne :

1° *Sans avance*, pleine vapeur pendant toute la course.

2° *Avance de 25° sans recouvrement.*

Pleine vapeur jusqu'à 145° ou 0,910 [1] de la course soit 0,910 pleine vap.
Fermeture complète à 155° ou 0,953. . . . . id. . . . . 0,043 détente.
Ouverture { d'échappement. / à contre vapeur. } à 155° ou 0,953. . . . . id. . . . . 0,047 échapp.
jusqu'à la fin de la course à 180° ou 1,000. . . . . id. . . . . 0,047 contre vap.

3° *Avec avance de 25° et recouvrement.*

Pleine vapeur jusqu'à	125° ou 0,787 de la course soit		0,787	pleine vapeur.
Fermeture complète	135° . . 0,854	. . . . id.	0,067	détente part.
Ouverture d'échapp	155° . . 0,953	. . . . id.	0,099	dét. complète.
Jusqu'à la fin	180° . . 1,000	. . . . id.	0,047	échappement.
De 173 à 180° contre-vapeur.	ou		0,005	

Ces résultats sont extraits du Tableau 4.

Des calculs analogues peuvent être faits sur toutes les machines que nous

[1] Voir le tableau 3 bis.

avons examinées, les vitesses d'écoulement dépendant à la fois de la longueur de la lumière et de la course du tiroir. Du reste, l'avance de 25° et le recouvrement nous paraissent devoir être appliqués à toutes les machines sans distinction. Nous présentons dans le tableau suivant les courses des divers tiroirs et leur position au point mort et au milieu de la course ou à 90° qui peut être considéré comme l'ouverture moyenne des lumières quand il y a recouvrement.

TABLEAU 6.

Des dimensions des lumières et de la course des tiroirs des machines locomotives des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles et des ouvertures de ces lumières au commencement et au milieu de la course quand il y a avance de 25° avec ou sans recouvrement.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	DIMENSIONS des lumières.			Course du tiroir exprimée en mm.	OUVERTURE de la lumière au point mort.			OUVERTURE de la lumière à 90°.		
	LONGUEUR.	LARGEUR.	SURFACE réelle en décimètr. carrés		AVEC AVANCE à 25°.	LONGUEUR du recouvrement.	AVEC AVANCE et recouvrement.	SANS AVANCE.	AVEC AVANCE à 25°.	AVEC AVANCE et recouvrement.
Denys Papin.	0.150	0.025	0.375	70	14.3	10.5	4.3	28.0	28.0	21.2
Bury.	0.106	0.027	0.286	70	14.3	10.5	4.3	28.0	28.0	21.2
Tayleur. . . .	0.170	0.034	0.578	70	14.3	10.5	4.3	34.0	31.2	21.2
Etna.	0.236	0.291	0.696	78	16.9	12.0	4.9	29.5	29.5	24.3
Alsace. . . .	0.203	0.380	0.780	82	16.9	12.0	4.9	38.0	35.8	24.3
Gauloise. . .	0.190	0.036	0.680	108	22.8	15.8	7.0	36.0	36.0	33.1
Bucéphale. .	0.205	0.038	0.779	87	19.0	13.0	6.0	38.0	38.0	27.8
Creusot. . . .	0.180	0.030	0.540	79	16.9	12.0	4.9	30.0	30 0	24 3
Alcide. . . .	0.203	0.038	0.770	82	16.9	12.0	4.9	38.0	35.8	24.3
Vesta.	0.242	0 032	0.774	93	19.8	14.0	5.8	32.0	32.0	28.6
Schneider exp.	0.200	0.030	0.600	80	16.9	12.0	4.9	30.0	30.0	24.3
Versailles. . .	0.235	0.028	0.658	70	14.3	10.5	4.3	28.0	28.0	21.2
Vésuve. . . .	0.172	0.043	0.826	94	19.4	14.0	5.9	43.0	42.1	28.6

L'avance de 25° a été supposée appliquée uniformément à toutes ces machines, et le recouvrement de la lumière d'introduction calculé de manière à ce que celle-ci ouvre 7° avant la fin de la course.

Il n'est pas nécessaire de répéter qu'en réalité aucune de ces machines ne se trouve dans ces conditions.

Leur avance est au plus de 10° à 15° et les recouvremens sont assez faibles.

Nous considérons l'avance de 25° avec recouvrement des 2/3 de l'avance comme devant servir aux entrées de vapeur. Nous en tirerons les vitesses moyennes pour l'angle de 90° et pour les diverses machines de la même manière que ces vitesses ont été obtenues dans le tableau 4 pour *la Versailles*.

Le tableau 4 donne les vitesses à 10 lieues à l'heure. Pour une marche supérieure elles sont proportionnelles.

On a mis dans le tableau 7 les pressions effectives correspondantes pour produire ces vitesses, en supposant la vapeur à une tension de 4 atmosphères absolues.

TABLEAU 7.

Indiquant, pour diverses machines, les vitesses de passage, par les lumières d'introduction, de la vapeur à une tension de 4 atmosphères absolues et les pressions effectives génératrices correspondantes pour des vitesses de marche de 8, 10, 12, 16, 20 et 24 lieues à l'heure.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	VITESSE DE PASSAGE DE LA VAPEUR dans les lumières d'introduction à 90 °, la vitesse de marche en lieues par heure étant de						PRESSION EFFECTIVE CORRESPONDANTE, la tension de la vapeur étant de 4 atmosphères et la vitesse de marche de la machine en lieues par heure de					
	8	10	12	16	20	24	8	10	12	16	20	24
Denys Papin	67	83	101	134	167	201	0.05	0.07	0.11	0.19	0.28	0.42
Bury	95	119	143	190	237	285	0.09	0.15	0.21	0.38	0.58	0.85
Tayleur	63	79	94	126	157	189	0.04	0.05	0.08	0.14	1.21	0.30
Etna	38	47	56	76	95	112	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09
Alsace	53	66	80	106	132	159	0.03	0.05	0.09	0.12	0.18	0.26
Gauloise	53	66	80	106	133	159	0.03	0.05	0.09	0.12	0.18	0.26
Bucéphale	52	65	78	104	130	156	0.03	0.05	0.09	0.12	0.18	0.27
Creusot	71	89	107	142	178	213	0.05	0.08	0.12	0.22	0.34	0.47
Alcide	58	72	87	116	145	174	0.04	0.05	0.08	0.14	0.22	0.32
Vesta	54	68	81	108	135	162	0.03	0.05	0.08	0.12	0.18	0.30
Schneider exp.	59	74	89	118	148	177	0.04	0.06	0.08	0.14	0.23	0.32
Versailles	62	78	93	125	155	186	0.04	0.06	0.09	0.16	0.25	0.36
Vésuve	56	71	85	113	142	169	0.04	0.05	0.08	0.14	0.21	0.30

Les pressions effectives qui résultent de ce tableau démontrent qu'en général une faible pression est nécessaire pour engendrer la vitesse de passage de la vapeur dans les lumières d'introduction. Ainsi cette pression n'est en moyenne que de 0,07 at. à 10 lieues.
0,16 at. à 16 lieues.
0,32 at. à 24 lieues.

Ces différences si faibles de tension sont compensées par une plus grande ouverture de régulateur et n'entrainent aucune perte de force de la machine, parceque la pression sur le piston n'a jamais besoin d'être égale à celle de la chaudière à de grandes vitesses. Un fait ressort encore de l'examen du tableau précédent : c'est qu'il est convenable d'augmenter la course du tiroir tout en gardant les mêmes dimensions de la lumière afin que le grand recouvrement ne diminue pas trop la section du passage de la vapeur.

Les vitesses de passage par les lumières de sortie peuvent être prises pour l'avance de 25° *sans recouvrement* comme pour les sections maximum aux vitesses maximum du piston.

Nous avons donné ces vitesses pour la marche de 10 lieues à l'heure dans le tableau 1. En calculant ces vitesses pour des marches de 12, 16, 20 et 24 lieues, nous formons le tableau suivant.

Il n'est ici question que des vitesses dues à la marche du piston et nullement de celles provenant d'une détente de la vapeur, que nous traiterons spécialement plus loin.

TABLEAU 8.

Des vitesses de passage de la vapeur dans les lumières de sortie et des pressions effectives génératrices correspondantes, l'écoulement étant supposé avoir lieu dans l'atmosphère et la vitesse de marche des machines variant de 8 à 24 lieues à l'heure.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	VITESSE DE PASSAGE DE LA VAPEUR dans les lumières de sortie à 90 °, la vitesse de marche en lieues par heure étant de						PRESSION EFFECTIVE CORRESPONDANTE pour produire l'écoulement DANS L'ATMOSPHÈRE.					
	8	10	12	16	20	24	8	10	12	16	20	24
Denys Papin	58	73	85	116	146	170	0.010	0.015	0.020	0.040	0.065	0.090
Bury.......	78	97	117	156	194	233	0.020	0.030	0.040	0.075	0.120	0.180
Tayleur.....	40	50	60	80	100	120	0.005	0.008	0.011	0.020	0.030	0.045
Etna........	32	40	48	64	80	96	0.002	0.003	0.004	0.005	0.007	0.009
Alsace......	34	43	52	69	86	103	0.004	0.006	0.009	0.015	0.023	0.033
Gauloise....	51	64	77	102	128	154	0.008	0.012	0.018	0.030	0.050	0.075
Bucéphale...	39	49	59	78	98	118	0.005	0.008	0.011	0.020	0.030	0.045
Creusot....	59	74	89	118	148	178	0.010	0.015	0.020	0.040	0.065	0.090
Alcide.....	38	47	56	75	94	113	0.005	0.007	0.010	0.017	0.026	0.040
Vesta......	41	51	61	82	102	122	0.005	0.008	0.011	0.020	0.030	0.045
Schneider exp.	49	61	73	98	122	146	0.007	0.012	0.017	0.030	0.045	0.065
Versailles...	49	61	73	98	122	146	0.007	0.012	0.017	0.030	0.045	0.065
Vésuve.....	38	48	57	77	96	113	0.005	0.008	0.011	0.020	0.030	0.045

Toutes ces pressions effectives nécessaires pour produire le passage de la vapeur sont de véritables résistances contre le piston, elles doivent donc être calculées avec soin; mais on remarquera qu'elles sont insignifiantes jusqu'à 16 lieues à l'heure, où elles s'élèvent à 0,03 d'atmosphère en moyenne. Enfin à 24 lieues elles ne sont encore que de 0,06 d'atmosphère.

La résistance créée par la vitesse de passage de la vapeur dans la lumière de *sortie* est donc très-peu importante dans les vitesses ordinaires, et en tout cas elle ne peut être un obstacle sérieux à ce que la machine prenne de très-grandes vitesses de marche.

Jusqu'à présent nous n'avons considéré que le passage naturel de la vapeur dans les lumières, c'est-à-dire que nous avons supposé qu'il ne s'écoulait soit à l'arrivée, soit à la sortie, que le volume engendré par les pistons; mais il n'en est pas ainsi : par les lumières d'introduction, s'il faut, à de grandes vitesses, une tension notable pour produire la vitesse de passage, le volume écoulé est moindre que celui qui est déterminé par le piston ; aux vitesses, ordinaires la différence est trop faible pour en tenir compte

Au contraire, à l'échappement, le volume écoulé est beaucoup plus considérable que celui qui est déterminé par le piston. Le cylindre en effet, au moment où la lumière s'ouvre, est rempli de vapeur à une haute pression : par le seul fait de l'ouverture de la lumière, cette pression ne disparaît pas immédiatement; mais elle s'abaisse successivement et se détend: par conséquent, à mesure que la vapeur s'écoule jusqu'à ce que la pression soit annulée l'écoulement a lieu avec la vitesse maximum, c'est-à-dire celle qui est due à la différence des tens ons.

La durée du dégagement de la vapeur est plus grande qu'on ne le pense, et crée derrière le piston une résistance considérable que l'on diminue beaucoup et que l'on utilise même en donnant de l'avance.

Nous allons chercher à déterminer approximativement les résistances créées ainsi par la détente de la vapeur qui s'échappe du cylindre.

Supposez un vase de 1 m. c. de capacité rempli de vapeur à 5 atm. de tension : en ouvrant l'orifice, la vapeur commencera à s'écouler et la pression baissera à 4,75 atm. par exemple. Au commencement, il s'écoulait de la vapeur à 5 atm. La tension de la vapeur qui s'écoule a baissé successivement, à la fin elle n'est que de 4 atm. 75 par exemple : il est facile de déterminer la quantité de vapeur écoulée, elle est égale à la différence du poids d'un mètre cube de vapeur à ces deux pressions :

Ainsi le mètre cube de vapeur à 5 atm. pèse		2,5682 k.
à 4 atm. 75	—	2,4514
Le poids de la vapeur écoulée sera de		0,1168 k.

Le volume de cette vapeur se compose d'une suite de volumes à des den-

sités différentes; mais il est sensiblement exact de supposer une densité moyenne, c'est-à-dire :

$$\frac{2\text{ k. }5682 + 2\text{ k. }4514}{2} = 2\text{ k. }5098 \text{ le mètre cube.}$$

Le volume de vapeur écoulée sera alors $\frac{0,\text{k. }1168}{2,\ 5098} = 0$, m. c. 0465 ou en résumé les $\frac{465}{10,000}$ du volume primitif.

Pour descendre à la pression de 4 atm. 50, il perdrait un nouveau poids de vapeur dont on trouverait le volume de la même manière.

C'est par cette méthode que le tableau suivant a été composé.

Le volume primitif étant constant et égal à l'unité, il en résulte que les augmentations partielles d'une pression à une autre sont des fractions de ce volume; et qu'en les ajoutant afin d'avoir les volumes totaux entre deux pressions plus distantes, les nombres que l'on obtient sont toujours proportionnels et peuvent s'appliquer immédiatement à tout cylindre dont la capacité est déterminée.

TABLEAU 9.

Indiquant les volumes écoulés pour que la vapeur renfermée dans un vase d'un mètre cube de capacité passe successivement à toutes les pressions depuis cinq atmosphères jusqu'à la pression atmosphérique, — et les volumes totaux écoulés pour que la vapeur se détende à la pression atmosphérique

PRESSION absolue en atmosphères.	POIDS du mètre cube de vapeur aux pressions absolues indiquées.	DIFFÉRENCES de poids du mètre cube de vapeur entre deux pressions absolues successives.	VOLUME du poids de vapeur écoulé rapporté à la pression moyenne de la vapeur.	VOLUME total qui doit s'écouler pour que le mètre cube de vapeur aux diverses pressions se soit détendu à la pression atmosphérique.
atm.	kil.	kil.	m. c.	m. c.
5.	2.5682	0.1168	0.0465	1.4720
4.75	2.4514	0.1169	0.0489	1.4255
4.50	2.3345	0.1170	0.0514	1.3766
4.25	2.2175	0.1213	0.0562	1.3252
4.00	2.0962	0.1205	0.0592	1.2690
3.75	1.9757	0.1208	0.0631	1.2098
3.50	1.8549	0.1213	0.0674	1.1467
3.25	1.7336	0.1224	0.0732	1.0793
3.00	1.6110	0.1237	0.0799	1.0061
2.75	1.4873	0.1239	0.0870	0.9262
2.50	1.3634	0.1258	0.0968	0.8392
2.25	1.2376	0.1264	0.1075	0.7424
2.00	1.1112	0.1276	0.1218	0.6349
1.75	0.9836	0.1300	0.1415	0.5131
1.50	0.8536	0.0787	0.0961	0.3716
1.35	0.7749	0.0525	0.0701	0.2755
1.25	0.7224	0.0268	0.0378	0.2054
1.20	0.6956	0.0269	0.0394	0.1676
1.15	0.6687	0.0268	0.0409	0.1282
1.10	0.6419	0.0269	0.0428	0.0873
1.05	0.6150	0.0268	0.0445	0.0445
1.00	0.5882	»	»	»

Les nombres du dernier tableau s'appliquant à un mètre cube deviennent des chiffres proportionnels, qui, multipliés par la capacité d'un cylindre déterminé, donnent immédiatement les volumes qui s'écouleraient pour que la pression s'abaissât.

Ainsi, par exemple, pour la machine *Versailles*, dont le cylindre a un vo-

lume de 39 décim. 33, il sera facile de déterminer les volumes qui devront s'écouler pour que la pression, à partir de 4 atmosph. s'abaisse successivement de quart en quart d'atmosphère jusqu'à la pression atmosphérique.

A chaque pression correspond une vitesse d'écoulement.

On doit admettre qu'entre deux pressions successives la vitesse d'écoulement est proportionnelle aux pressions ; ainsi, par exemple :

à 4 atmosph. la vitesse d'écoulement étant de 539 m.
à 3,75 de 531
à 3,94 elle sera de 537

En effet la différence de pression est de 0 atm. 25 ; la différence de la première avec celle qui est donnée est de 0,06. Le rapport entre les deux différences est $\frac{0,06}{0,25}$ soit 1/4, la différence des vitesses est de 8 dont le quart est 2, la vitesse correspondante à une pression de 3,94 est donc de 539—2=537.

Ainsi après chaque volume écoulé la vitesse est déterminée, et à un volume quelconque il sera facile de déterminer la vitesse en intercalant le volume dans la série, et en cherchant la vitesse proportionnelle.

On comprend qu'il y ait entre les volumes écoulés, les pressions et les vitesses d'écoulement des relations qui suivent une loi constante et rigoureuse.

On détermine ainsi la loi d'écoulement de la vapeur à une certaine tension s'échappant d'un cylindre d'une capacité déterminée dans un milieu dont la pression est connue et constante, dans l'atmosphère par exemple. C'est ce qui constitue la première partie du tableau 10.

Il faut rechercher maintenant pendant quel temps cet écoulement a lieu, et, par conséquent, le temps pendant lequel la pression se maintient ou n'est pas encore annulée.

Le tiroir s'ouvre successivement ; au commencement et pendant les premiers instans il est presque fermé : le mouvement est assez rapide, mais néanmoins les ouvertures sont restreintes dabord. Si la surface du tiroir était constante, en divisant chaque volume par la vitesse moyenne d'écoulement, on aurait en fraction de secondes le temps de l'écoulement pour chaque abaissement de pression de 1/5 d'atmosphère.

La surface de section n'étant pas constante, le problème est plus difficile et l'on ne peut arriver au résultat que par tâtonnement. Il s'agit de recomposer une deuxième série de volumes partiels et totaux s'intercalant dans l'autre série, et d'en tirer les vitesses finales et moyennes.

Les volumes et les vitesses de cette nouvelle série doivent satisfaire à deux conditions : la première, de s'accorder avec les chiffres de la première série, c'est-à-dire que le volume partiel et la vitesse moyenne soient exactement ceux que l'on tirerait de la première série.

La seconde condition, c'est que la surface réduite de l'ouverture du tiroir multipliée par la vitesse moyenne d'écoulement déjà citée donne le volume d'écoulement qui s'accorde avec la première série.

Le tableau lui-même et les explications qui le suivront feront comprendre facilement le mécanisme de ce calcul.

Les surfaces moyennes d'orifice des lumières réduites par le coefficient ont été prises de 5° en 5° dans le tableau 3, c'est la surface moyenne de la lumière aux deux extrémités de l'arc.

Le tableau est calculé pour une vitesse de marche de 11 lieues à l'heure, c'est-à-dire 12 m.,222 par 1'', ce qui représente un nombre de tours de roues de $\frac{12,222}{5,24} = 2$ t. 332 par 1'' ou $2,332 \times 72 = 168$ arcs de 5° par seconde. L'écoulement étant donné par arcs de 5° sera calculé par 1/168 de seconde.

Ainsi les vitesses, qui sont données en secondes, seront aussi réduites pour le temps d'un arc de 5°.

Pour la facilité du calcul ces nouvelles vitesses réduites ont été multipliées par 10, ce qui représente des vitesses d'écoulement en décimètres par arc de 5°. Le produit de cette vitesse par la surface en décimètres quarrés donne le volume écoulé par arc de 5° en décimètres cubes.

Chacun de ces volumes partiels et leurs vitesses doivent s'accorder ensuite exactement avec la première série. C'est dans le but de faire cette vérification, et de la rendre plus saillante, que nous avons placé dans le tableau les colonnes des chiffres de vérification.

TABLEAU 10. — Indiquant pour la machine Versailles, marchant à 11 lieues à l'heure, la pression moyenne, par arc de 5°, que la vapeur conserve derrière le piston en se détendant successivement jusqu'à la pression atmosphérique : la pression initiale de la vapeur étant de 4 atmosphères.

		0 (initial)	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
PRESSION EFFECTIVE au-dessus de la pression atmosph.	en atm.		2.97	2.84	2.56	2.17	1.75	1.25	0.94	0.62	0.33	0.15
PRESSION MOYENNE DE LA VAPEUR CONTRE LE PISTON au milieu de chaque arc de 5°.	en atm.		3.97	3.84	3.56	3.17	2.75	2.25	1.94	1.62	1.33	1.15
QUANTITÉ DE VAPEUR ÉCOULÉE en décimètres c. — A LA FIN de chaque arc de 5°.	en déc. c.		0.640	2.580	5.929	10.555	16.264	22.734	29.745	36.543	42.544	47.382
QUANTITÉ DE VAPEUR ÉCOULÉE en décimètres c. — PAR ARC de 5°.	en déc. c.		0.640	1.940	3.349	4.636	5.709	6.470	6.972	6.837	6.001	4.838
VITESSE MOYENNE D'ÉCOULEMENT de la vapeur. — EN DÉCIMÈTRES par arc de 5°.	d.		32.0	31.8	31.3	30.3	29.0	27.3	24.9	21.5	17.4	12.5
VITESSE MOYENNE D'ÉCOULEMENT de la vapeur. — EN MÈTRES par 1".	m.		538	534	525	510	488	459	418	367	293	210
SURFACE MOYENNE RÉDUITE DES TIROIRS entre 2 angles successifs.	en d. q.		0.020	0.061	0.107	0.153	0.197	0.237	0.280	0.318	0.353	0.387
ANGLES PARCOURUS PAR LES EXCENTRIQUES à partir du milieu de la course.	en degr.		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
NOMBRES DE VÉRIFICATION — Vitesse d'écoulement — moyenne entre chaque angle.	en m.		538	534	525	510	488	459	418	362	293	210
NOMBRES DE VÉRIFICATION — Vitesse d'écoulement — à la fin de chaque arc.	en m.	539	537	531	519	501	475	443	393	331	255	155
NOMBRES DE VÉRIFICATION — VOLUME PARTIEL écoulé par chaque arc de 5° de la marche des tiroirs.	en déc. c.		0.640	1.940	3.349	4.636	5.709	6.470	6.972	6.837	6 001	4.838
NOMBRES DE VÉRIFICATION — VOLUME TOTAL écoulé à la fin de chaque arc de 5°.	en déc. c.		0.640	2.580	5.929	10.555	16.264	22.734	29.706	36.543	42.544	47.382

PRESSION absolue de la vapeur.	en atm.	4.	3.75	3.50	3.25	3.00	2.75	2.50	2.25	2.00	1.75	1.50	1.35	1.25	1.20	1.15	1.10	1.05	1.00
AUGMENTATION du volume de vapeur qui s'échappe. — TOTALE à la fin de chaque pression.	en déc. c.		2.328	4.810	7.461	10.340	13.483	16.905	20.712	24.949	29.739	35.304	39.084	41.841	43.328	44.878	46.487	48.170	49.920
AUGMENTATION du volume de vapeur qui s'échappe. — PARTIELLE à la fin de chaque pression.	en déc. c.		2.328	2.482	2.651	2.879	3.143	3.422	3.807	4.237	4.790	5.565	3.780	2.757	1.487	1.550	1.609	1.683	1.750
FRACTION d'augmentation du vol. d'une cylindrée d'une pression à l'autre.			0.0592	0.0631	0.0674	0.0732	0.0799	0.0870	0.0968	0.1075	0.1218	0.1415	0.0961	0.0701	0.0378	0.0394	0.0409	0.0428	0.0445
Vitesse d'écoul. de la vapeur dans l'atmosphère.	en m.	539	531	523	513	502	488	473	458	427	393	344	302	265	242	214	178	129	

Les premières colonnes sont spécialement consacrées à l'écoulement théorique, c'est-à-dire aux augmentations partielles et totales des volumes, aux vitesses qui leur correspondent ainsi qu'aux pressions. La seconde division est l'ouverture moyenne des lumières par arc de 5°, qui, multipliée par la vitesse d'écoulement en arc de 5°, donne les volumes écoulés successivement et qui doivent recomposer la première série et s'accorder à la fin avec elle. Cette seconde partie, ainsi que les nombres de vérification, doit se faire successivement en plaçant les angles en regard des positions où ils doivent s'intercaler dans la première série.

Ainsi pour l'arc de 5° la surface moyenne réduite de la lumière est de 0 d.q,02, la vitesse par 1" est de 538 m., ce qui fait par 1/168 de seconde 32 d.q. ou un volume écoulé de $0{,}02 \times 32 = 0$ d.c.,640. La vitesse finale qui lui correspond est de $537 = \frac{640}{2380} = 1/4$ environ.

La différence des vitesses est $539 - 531 = 8$ m. dont le quart est 2, à défalquer 539, soit 537 m.

La vitesse initiale est de 539 m. et celle finale de 537 m. La vitesse moyenne sera donc de 538 m. qui est celle qui a déjà été admise. La supposition première était donc juste.

Entre 5° et 10° la surface du tiroir est de 0 d.q. 061, la vitesse d'écoulement supposée de 534 m. produit un volume partiel de 1d.c.,940 et total de 2d c,580. Ce dernier chiffre reporté à la dernière colonne se place entre 3 atm. 75 et 3 atm. 50 ou entre une vitesse de 531 m. et une de 523 m. La vitesse qui est proportionnelle est de 531 m., la vitesse initiale est de 537 m., la vitesse moyenne sera de 534, nombre admis; et ainsi de suite jusqu'à ce que le volume de 49 décimètres cubes soit écoulé.

Les pressions qui existent entre chaque arc sont celles qui engendrent les vitesses moyennes ; elles se déterminent par différences et proportions comme toutes les autres. En défalquant la pression atmosphérique, on obtient la pression effective que la détente de la vapeur conserve et qui s'exerce contre le piston.

On voit que cette pression se maintient très considérable : jusqu'au 15° degré elle n'est baissée que de 1/2 atmosphère et au 25° de 1 atm. 25. Elle se perpétue jusqu'au 50° degré, c'est-à-dire pendant 10 arcs de 5° ou 1/17 de seconde ou pendant plus du quart du temps de la course du piston.

Ces résultats sont au-dessous de la réalité parceque le piston n'est pas resté immobile, il s'est avancé et a créé pour l'écoulement de la vapeur des pressions plus considérables.

Nous n'en tenons pas compte ici parceque le calcul serait beaucoup plus compliqué et qu'il ne nous permettrait pas de faire des comparaisons essentielles entre la marche sans avance et la marche avec avance.

Négligeant en effet le mouvement du piston si nous donnons 25° d'avance, il en résultera que la pression effective des cinq premiers arcs agira sur le piston dans le sens de son mouvement et que les pressions effectives des autres arcs s'opposeront seules à son mouvement de retour.

Si, au contraire, nous avons un retard de 15°, l'ouverture n'ayant lieu que 15° après le point mort, il y aura contre-vapeur entière pendant 3 arcs, et ensuite pour chaque arc successif la pression indiquée au tableau précédent.

En déterminant pour chaque arc la fraction de la course que parcourt le piston, on aura la pression effective rapportée à la course totale.

Ces calculs ont été faits pour la machine *Versailles*, marchant à 11 lieues à l'heure, et sont renfermés dans le tableau suivant pour 3 distributions : 1° sans avance, 2° avec retard de 15°, 3° avec avance de 25°.

TABLEAU 11.

Indiquant pour la machine Versailles marchant à 11 lieues à l'heure, les pressions effectives contre le piston par arc de 5°, et le travail utile ou nuisible de la vapeur qui se détend en s'échappant par la lumière de sortie (la tension absolue de la vapeur dans le cylindre étant de 4 atmosphères) : 1° sans avance 2°, avec retard de 15°, 3° avec avance de 25°.

angle de la marche du piston le 0 étant au point mort.	FRACTION de la COURSE que parcourt LE PISTON.		SANS AVANCE.		RETARD DE 15°.		AVANCE DE 25°.			
			RÉSISTANCE.		RÉSISTANCE.		RÉSISTANCE.		PUISSANCE.	
	en sens contraire à la pression d'échappemt.	dans le sens de la pression de l'échappemt.	pression moyenne effective DE LA VAPEUR.	PRESSION moyenne effective rapportée à la course totale	pression moyenne effective DE LA VAPEUR.	PRESSION moyenne effective rapportée à la course totale	pression moyenne effective DE LA VAPEUR.	PRESSION moyenne effective rapportée à la course totale	pression moyenne effective DE LA VAPEUR.	PRESSION moyenne effective rapportée à la course totale
en d°.			atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.
—25	»	0.0167	»	»	»	»	»	»	2.97	0.0496
—20	»	0.0130	»	»	»	»	»	»	2.84	0.0369
—15	»	0.0096	»	»	»	»	»	»	2.56	0.0246
—10	»	0.0057	»	»	»	»	»	»	2.17	0.0124
— 5	»	0.0019	»	»	»	»	»	»	1.75	0.0033
0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
5	0.0019	»	2.97	0.0056	3.00	0.0057	1.25	0.0024	»	»
10	0.0057	»	2.84	0.0162	3.00	0.0171	0.94	0.0054	»	»
15	0.0096	»	2.56	0.0246	3.00	0.0288	0.62	0.0060	»	»
20	0.0130	»	2.17	0.0282	2.97	0.0386	0.33	0.0043	»	»
25	0.0167	»	1.75	0.0292	2.84	0.0474	0.15	0.0025	»	»
30	0.0201	»	1.25	0.0251	2.56	0.0515	»	»	»	»
35	0.0235	»	0.94	0.0223	2.17	0.0510	»	»	»	»
40	0.0265	»	0.62	0.0164	1.75	0.0464	»	»	»	»
45	0.0295	»	0.33	0.0097	1.25	0.0364	»	»	»	»
50	0.0321	»	0.15	0.0048	0.94	0.0302	»	»	»	»
55	0.0346	»	»	»	0.62	0.0215	»	»	»	»
60	0.0368	»	»	»	0.33	0.0121	»	»	»	»
65	0.0387	»	»	»	0.15	0.0058	»	»	»	»
			moyenne		moyenne		moyenne		moyenne	
totaux	0.2887	0.0469	1.02	0.1821	1.36	0.3925	0.44	0.0206	2.70	0.1268
y compris l'augmentation de $\frac{1}{5}$...				0.2185		0.4710		0.0250		»

Ainsi sans avance il y a contre le piston, et pendant un angle de 50°, ou pendant les 18/100 de la course (Tableau 3), une pression qui est en moyenne de 1 atm. 02, et qui, répartie sur la course entière, équivaut à 0 atm. 1821.

2° Quand il y a retard de 15°, cette pression contraire existe pendant 65° ou 0,289 de la course. Sa valeur moyenne est de 1 atm. 36, et, répartie sur la course entière, c'est une pression variable de 0 atm. 393.

3° Enfin, avec avance de 25°, cette contre-pression n'existe que pendant 25° ou 0,047 de la course, son intensité moyenne est de 0 atm. 44 seulement, et la pression moyenne totale, répartie sur la course entière, n'est que de 0 atm. 02.

En outre, on emploie la pression qui reste à la vapeur qui se détend pendant les 25° que le piston parcourt après l'ouverture de la lumière de sortie; c'est-à-dire qu'il y a une pression utile moyenne de 2 atm. 70 pendant 0,047 de la course : ce qui, réparti sur la course entière, fait 0 atm. 1268. Cette quantité défalquée de la perte donne en résumé un bénéfice de force de 0 atm. 106.

En comparant cette force gagnée à celle que l'on perd quand on a du retard, ou même quand l'excentrique est normal, on doit se convaincre de la nécessité de l'avance.

Quand on ne donne pas au tiroir un grand recouvrement en même temps qu'on donne de l'avance, il y a une contre-vapeur; c'est-à-dire que la vapeur est admise en sens inverse du mouvement du piston pendant 25°.

C'est un inconvénient assez grand au moment du départ, parceque cela fait perdre de la puissance de traction de la machine; mais, en marche, cet inconvénient est compensé et au delà par la diminution de résistance de l'échappement. En effet, en nous reportant au tableau précédent, nous trouvons qu'avec avance de 25° la pression moyenne de la vapeur à l'échappement a été de 2 atm. 70; pendant les cinq derniers arcs la pression de contre-vapeur qui serait opposée en cas de non-recouvrement serait de 3 atm. effectives, pendant la même course. La différence à ajouter aux résistances de la marche avec avance serait loin de compenser l'énorme économie que l'on aurait obtenue. En effet, pour la marche sans avance, nous avons résistance à l'échappement, répartie sur toute la course, 0 atm. 1821. pour la marche avec avance de 25° sans recouvrement, nous avons :

Contre-vapeur. . . . . 0,0469 × 3 atm. =	0 1407	
Résistance d'échappement	0 0206	
Total.	0,1613	
A retrancher :		
Utilisation des premières pressions de l'échappement.	0 1268	
Reste une perte de travail de.		0,0345
Différence en faveur de la marche avec avance. . . .		0,1476

On voit donc que la marche avec avance et à la vitesse ordinaire présente de grandes économies sur la marche sans avance, même quand il n'y a pas de recouvrement.

Si, au contraire, on donne du recouvrement de manière à ce que la contre-vapeur n'existe qu'à la fin de la course seulement, les avantages augmentent à la fois par la suppression de la résistance et par l'augmentation de la détente.

Nous ne nous occuperons donc pas de la marche avec la distribution en retard, elle est inadmissible *à fortiori*.

Les résistances calculées ainsi par la détente de la vapeur qui s'écoule sont trop faibles, parcequ'on ne tient pas compte du volume poussé par le piston. Des calculs nous ont indiqué que l'augmentation qui résulte de ce nouvel élément est de $^1/_5$; nous augmenterons de cette fraction les chiffres obtenus, qui deviendront, pour la marche sans avance, 0, atm. 218; au lieu de 0, at. 1821. et, avec avance, 0, atm. 023; au lieu de 0, at. 2020.

Il nous a paru intéressant de répéter les calculs renfermés dans les tableaux précédens, pour des vitesses et des tensions de vapeur différentes.

Seulement, pour nous rapprocher de la pratique, nous avons senti la nécessité de prendre pour point de départ la force de vaporisation. Celle-ci a été déterminée dans la note deuxième, et a été fixée à 2060 kil. par heure pour la machine *la Versailles*, à raison de 90 kil. de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe réduite. Nous avons appelé cette quantité la *force de vaporisation effective*, c'est-à-dire la fraction réellement utilisée : mais en réalité cette vaporisation s'est élevée, d'après M. de Pambour, à 120 kil. en moyenne; et d'après la dernière expérience de Wood sur les chemins anglais sur des machines allant à une plus grande vitesse, à 160 kil. par heure et par mètre carré de surface de chauffe réduite. Dans quelques expériences elle s'est même élevée jusqu'à 200 kil.

Il nous a donc paru convenable de faire pour la même machine ces calculs avec les suppositions de vaporisation de 90 kil. 120 kil., et 160 kil. par heure et par mètre carré de surface de chauffe réduite. Les tensions absolues seront supposées de 5 atmosphères, 4 atmosphères, 3 atmosphères et 2 atmosphères, et les vitesses de marche sont calculées pour que le piston consomme toute la vapeur produite par la chaudière.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

TABLEAU 12. — Indiquant par arcs de 5° en 5° et pour la machine Versailles fonctionnant sans avance les pressions moyennes effectives et les fractions du travail total absorbé par la résistance sur le piston de la vapeur qui se détend et s'écoule par la lumière de sortie. — La vapeur étant supposée avoir agi sur le piston à des tensions absolues de 5, 4, 3 et 2 atmosphères, et la vaporisation étant supposée de 90, 120 et 160 k. correspondant aux vitesses de marche indiquées ; l'écoulement ayant lieu dans l'atmosphère.

PRESSIONS en atmosphères ;			5 ATMOSPHÈRES absolues.					
Vitesse de marche de la machine ;			6 lieues.		9 lieues.		12 lieues.	
Vaporisation supposée par h. et par m. q. de chauffe réduite			81 k.		121 k.		162 k.	
ANGLES	FRACTION DE LA COURSE parcourue. partielle.	totale.	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.	Pression moy. effective en atm	Pression moyenne rapportée à la course totale.	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.
0	»	»	»	»	»	»	»	»
5	0.0019	0.0019	3.90	0.0074	3.90	0.0074	4.00	0.0076
10	0.0057	0.0076	3.70	0.0211	3.75	0.0214	3.80	0.0217
15	0.0096	0.0172	3.00	0.0294	3.25	0.0252	3.50	0.0336
20	0.0130	0.0302	2.20	0.0286	2.65	0.0345	3.00	0.0390
25	0.0167	0.0469	1.55	0.0259	2.00	0.0334	2.50	0.0417
30	0.0201	0.0670	0.85	0.0171	1.45	0.0291	1.85	0.0372
35	0.0235	0.0905	0.40	0.0094	0.87	0.0204	1.35	0.0317
40	0.0265	0.1170	0.11	0.0029	0.55	0.0146	0.90	0.0238
45	0.0295	0.1461	»	»	0.24	0.0071	0.60	0.0177
50	0.0321	0.1786	»	»	0.08	0.0027	0.31	0.0099
55	0.0346	0.2132	»	»	»	»	0.13	0.0045
60	0.0368	0.2500	»	»	»	»	0.06	0.0022
65	0.0387	0.2887	»	»	»	»	»	»
70	0.0403	0.2390	»	»	»	»	»	»
			moy		moy		moy	
totaux et moyenn.				0.1418		0.1958		0.2706
$^1/_5$ d'augmentation			1.45	0.1702	1.31	0.2350	1.30	0.3247
frac. du tr. th. ab.				0.0425		0.0588		0.0812

	4 ATMOSPHÈRES absolues.					
Vitesse de marche	8 lieues.		11 lieues.		14 lieues $^1/_2$	
Vaporisation	88 k.		121 k.		160 k.	
ANGLES	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.
0	»	»	»	»	»	»
5	2.90	0.0055	3.00	0.0057	3.00	0.0057
10	2.75	0.0157	2.90	0.0165	2.90	0.0165
15	2.45	0.0235	2.60	0.0250	2.65	0.0254
20	1.90	0.0247	2.20	0.0286	2.35	0.0305
25	1.40	0.0234	1.75	0.0292	2.00	0.0334
30	0.95	0.0191	1.30	0.0261	1.60	0.0322
35	0.55	0.0129	0.90	0.0212	1.25	0.0295
40	0.25	0.0066	0.55	0.0146	0.90	0.0238
45	0.06	0.0017	0.28	0.0083	0.60	0.0177
50	»	»	0.13	0.0042	0.35	0.0112
55	»	»	»	»	0.18	0.0062
60	»	»	»	»	0.08	0.0029
65	»	»	»	»	»	»
70	»	»	»	»	»	»
	moy		moy		moy	
totaux et moyenn.		0.1331		0.1794		0.2350
$^1/_5$ d'augmentation	1.09	0.1597	1.21	0.2153	1.13	0.2820
frac. du tr. th. ab.		0.0532		0.0718		0.0940

	3 ATMOSPHÈRES absolues.					
Vitesse de marche	11 lieues.		14 lieues.		20 lieues.	
Vaporisation	93 k.		122 k.		168 k.	
ANGLES	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.
0	»	»	»	»	»	»
5	2.00	0.0038	2.00	0.0038	2.00	0.0038
10	1.85	0.0105	1.85	0.0105	1.95	0.0111
15	1.65	0.0158	1.75	0.0168	1.85	0.0178
20	1.40	0.0182	1.51	0.0196	1.60	0.0208
25	1.10	0.0184	1.25	0.0209	1.47	0.0246
30	0.81	0.0163	0.97	0.0195	1.25	0.0251
35	0.52	0.0122	0.72	0.0169	1.00	0.0235
40	0.29	0.0068	0.50	0.0132	0.80	0.0212
45	0.14	0.0041	0.30	0.0089	0.60	0.0177
50	0.07	0.0022	0.16	0.0051	0.42	0.0135
55	»	»	0.08	0.0028	0.25	0.0086
60	»	»	»	»	0.16	0.0059
65	»	»	»	»	0.08	0.0031
70	»	»	»	»	»	»
	moy		moy		moy	
totaux et moyenn.		0.1083		0.1380		0.1967
$^1/_5$ d'augmentation	0.73	0.1300	0.78	0.1656	0.82	0.2360
frac. du tr. th. ab.		0.0650		0.0828		0.1180

	2 ATMOSPHÈRES absolues.					
Vitesse de marche	15 lieues $^1/_2$		20 lieues.		28 lieues.	
Vaporisation	90 k.		124 k.		167 k.	
ANGLES	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.	Pression moy. effective en atm.	Pression moyenne rapportée à la course totale.
0	»	»	»	»	»	»
5	1.00	0.0019	1.00	0.0019	1.00	0.0019
10	0.95	0.0054	0.95	0.0054	1.00	0.0057
15	0.88	0.0085	0.90	0.0086	0.95	0.0091
20	0.75	0.0098	0.80	0.0104	0.85	0.0111
25	0.63	0.0105	0.72	0.0127	0.78	0.0130
30	0.46	0.0093	0.55	0.0111	0.65	0.0131
35	0.34	0.0080	0.43	0.0107	0.58	0.0136
40	0.23	0.0061	0.32	0.0085	0.47	0.0115
45	0.12	0.0035	0.22	0.0065	0.36	0.0106
50	0.06	0.0019	0.13	0.0042	0.25	0.0080
55	»	»	0.08	0.0028	0.21	0.0073
60	»	»	»	»	0.15	0.0055
65	»	»	»	»	0.08	0.0031
70	»	»	»	»	0.04	0.0016
	moy		moy		moy	
totaux et moyenn.		0.0649		0.0828		0.1151
$^1/_5$ d'augmentation	0.43	0.0779	0.47	0.0994	0.42	0.1381
frac. du tr. th. ab.		0.0779		0.0994		0.1381

On voit que pour les vaporisations minima la vapeur n'est complètement détendue qu'après 40 à 50°, que pour une vaporisation de 120 kil. elle dure jusqu'à 55 et 60°; et que quant à la production de vapeur de 160 kil., la durée varie de 60 à 70°.

Il est évident que pour cette machine une avance de 25° n'est pas trop forte, puisqu'à cet angle la pression effective contre le piston est encore très considérable.

Si on compare le travail absorbé aux diverses pressions, on voit qu'il est sensiblement proportionnel aux vitesses et par conséquent à la quantité de vapeur produite. En partant des mêmes forces de vaporisation, les pressions moyennes contre le piston diminuent avec la tension de la vapeur. Ainsi, à 120 k. par heure, la pression moyenne est de 0 atm. 235 pour 5 atmosphères, et de 0 atm. 099 pour 2 atmosphères. Mais comme les vitesses sont tout-à-fait différentes dans les deux cas, ainsi que la pression initiale de la vapeur, il en résulte que la fraction du travail perdu est beaucoup plus grande : à 5 atmosphères, par exemple, elle est de 0. 059 du travail théorique, et à 2 atmosphères elle est de 0. 099.

Le travail perdu par la résistance de la vapeur qui sort du cylindre augmente donc beaucoup avec les vitesses de marche quand la production de vapeur employée est constante.

Enfin la résistance de la vapeur à la sortie du cylindre absorbe de 4 à 14 pour 100 du travail total théorique de cette vaporisation.

En appliquant l'avance du tiroir de 25° à la machine *la Versailles* on a déterminé la résistance de la vapeur à la sortie, ainsi que la partie de ces pressions qui sont utilisées.

L'avantage de la marche avec avance est donc représenté par la somme de la résistance de la vapeur quand il n'y a pas d'avance, et du travail utile qu'elle donne au contraire quand il y en a; ou, en d'autres termes, la somme de ce que l'on ne perd pas unie à celle que l'on gagne. C'est ce qui est indiqué dans le tableau suivant, soit pour les pressions, soit pour le travail.

TABLEAU 13.

Indiquant pour la machine Versailles dans diverses conditions de tension de vapeur, de vitesse de marche, et de force de vaporisation, les pressions que la vapeur conserve en s'échappant par la lumière de sortie, économisées et utilisées par l'avance de 25°.

TENSION absolue EN Atmosphères.	VITESSE DE MARCHE EN LIEUES PAR HEURE.	VAPORISATION par HEURE et par MÈTRE CARRÉ DE CHAUFFE RÉDUITE.	PRESSION MOYENNE EFFECTIVE EN ATMOSPHÈRES engendrée par la résistance de la vapeur qui se détend par la lumière de sortie.					DIFFÉRENCE DE TRAVAIL en faveur de l'avance à 25°, le travail de la cylindrée étant 1
			SANS AVANCE.	AVEC AVANCE de 25°.			EXCÉDANT EN FAVEUR DE LA MARCHE avec avance.	
				UTILISÉE dans les premiers 25°.	RÉSISTANCE au-delà des premiers 25°.	Utilis. ou différ. entre la press. pend. les 1ers 25° et celle au delà.		
		kilo.						
5 Atmosphères.	6	81	0.170	0.158	0.006	0.152	0.322	0.080
	9	122	0.235	0.164	0.021	0.143	0.378	0.095
	12	162	0.325	0.172	0.074	0.098	0.423	0.106
4 Atmosphères.	8	88	0.160	0.121	0.010	0.111	0.271	0.090
	11	121	0.219	0.129	0.022	0.107	0.321	0.107
	14 1/2	160	0.282	0.131	0.046	0.085	0.367	0.122
3 Atmosphères.	11	93	0.130	0.084	0.012	0.072	0.202	0.101
	14	122	0.167	0.085	0.023	0.062	0.229	0.115
	20	168	0.236	0.089	0.050	0.039	0.275	0.138
2 Atmosphères.	15 1/2	90	0.078	0.047	0.009	0.034	0.112	0.112
	20	124	0.099	0.044	0.016	0.028	0.127	0.127
	28	157	0.138	0.045	0.034	0.011	0.149	0.149

Ce tableau concerne uniquement les pressions produites par la vapeur qui se détend en s'échappant par la lumière de sortie ; il fait ressortir à ce point de vue unique les avantages de l'avance qui sont de deux espèces, comme nous l'avons dit : économie de la résistance qui aurait lieu sans avance, et, de plus, emploi de cette pression comme puissance pendant 25°.

Quand l'avance est telle, cette puissance excédant toujours la résistance due à la pression pendant les autres arcs, une fraction de sa valeur doit être ajoutée à l'économie déjà citée, pour former le bénéfice que donne l'avance et qui est renfermé dans la huitième colonne.

La dernière colonne peut servir de point de comparaison, parcequ'elle donne le rapport de l'économie obtenue par l'avance au travail théorique de la vapeur sur le piston ; ce qui s'effectue en divisant la pression économisée et utilisée par le nombre d'atmosphères effectif agissant sur le piston. Nous voyons que l'économie que l'on obtient varie de 8 à 14 p. 100 : que pour la même force de vaporisation cette économie augmente avec la vitesse, en raison inverse de la tension de la vapeur employée ; et que pour la même tension de vapeur elle augmente avec la vitesse et avec la quantité de vapeur employée.

Ces résultats sont obtenus abstraction faite des entrées de vapeur, et des contre-vapeurs que l'on aura si l'on ne met pas de recouvrement ; mais alors ce serait un mauvais emploi de la vapeur, et cela n'empêcherait pas l'économie dont nous venons de parler d'exister.

Pour apprécier exactement les bénéfices que l'on obtient en donnant de l'avance au tiroir, il faut tenir compte à-la-fois de ce qui se passe à l'échappement et aux entrées de vapeur ; il y a en effet une détente par celle-ci, détente qui augmente en donnant du recouvrement.

Pour la machine *Versailles* avec 25° d'avance et 10 millim. 1/2 de recouvrement au tiroir, la lumière d'introduction est fermée complètement à 135°, c'est-à-dire à 0,854 de la course ; mais à 127° et à une vitesse moyenne de 10 lieues à l'heure, la section d'entrée est déjà très-diminuée : on peut donc la supposer fermée à ce point, c'est-à-dire à 0,800 de la course.

A 155° ou 0,953 de la course la lumière s'ouvre pour donner issue à la vapeur il y a détente pendant 0,153,. La pression à 127° et à 0,800 de la course étant 1, la pression à 155°, c'est-à-dire quand le volume primitif sera devenu 0,953, sera $\frac{0,800}{0,953} = 0,855$, et la tension moyenne sera les 0,93 de ce qu'elle était. Ainsi, à 3 atmosphères de pression initiale, la pression moyenne pendant la détente sera de $3 \times 0,93 = 2$, atm. 79, c'est-à-dire 1 atm. 79 effective. De plus, au moment où la lumière s'ouvre, cette pression finale devient $3 \times 0,855 = 2$, atm. 57 soit 1, atm. 57 de pression effective.

Le travail de la vapeur que l'on doit à la détente et que l'on utilise sera multiplié par cette pression réduite ; il en sera de même des résistances de la vapeur en s'écoulant. Il est clair que si la pression initiale diminue, le travail résultant diminuera également. C'est même un avantage de l'avance

avec recouvrement, c'est qu'au moment de l'ouverture du tiroir de sortie la pression de la vapeur est déjà beaucoup abaissée grâce à la détente.

C'est d'après ces bases qu'a été établi le tableau suivant, donnant la comparaison du travail de la machine avec ou sans avance.

La consommation de vapeur avec l'avance et le recouvrement n'étant que les 8/10 de ce qu'elle est sans avance, le travail utile d'un même poids de vapeur dans les mêmes circonstances pourra être déduit facilement ainsi que l'économie qui résulte de ses applications.

TABLEAU 14. — Indiquant les pressions moyennes effectives contre le piston de la machine *Versailles* fonctionnant à des pressions de 5, 4, 3 et 2 atm. absolues et à des vitesses variables correspondant à une production de vapeur de 90, 120 et 160 kil. par heure et par m. q. de chauffe réduite. — Comparaison de l'effet utile de la vapeur : 1° quand il n'y a ni avance, ni recouvrement; 2° quand il y a avance de 25°, et recouvrement de 10 mill. ½.

Tension absolue de la vapeur en atmosphères.	Vitesse de marche en lieues par heure.	Vaporisation par heure et par mètre q. de chauffe réduite.	PRESSION MOY. EFF. SANS AVANCE.			PRESSION MOYENNE EFFECTIVE AVEC AVANCE DE 25° ET RECOUVREMENT.								Différence des pressions moy. utiles, en faveur de la marche avec avance.	Travail d'une cylindrée avec avance, le travail sans avance étant 1.	TRAVAIL AVEC AVANCE, le travail de la vap. à la même pression sans avance étant 1.
						PRESSION UTILISÉE.				PRESSION CONTRAIRE.						
			Pression à pleine vapeur toute la course.	Pression moyenne contre le piston par la vap. qui se détend à la lum. de sortie.	Pression moyenne utile.	A pleine vapeur. 0.80 de la course.	Détente. 0.153 de la course.	Pression moyenne de la vap. qui s'échappe à 0.047 de la course.	TOTALE.	Échappement réduit à cause de la détente.	Contre-vapeur 0.005 de la course.	TOTALE.	Différence ou pression moy. utile finale.			
		kil.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.
5	6	81	4.000	0.170	3.830	3.200	0.558	0.128	3.886	0.005	0.020	0.025	3.861	0.031	1.008	1.260
	9	121	4.000	0.235	3.765	3.200	0.558	0.133	3.891	0.017	0.020	0.037	3.854	0.089	1.024	1.279
	12	162	4.000	0.325	3.675	3.200	0.558	0.139	3.897	0.060	0.020	0.080	3.817	0.142	1.039	1.299
4	8	88	3.000	0.160	2.840	2.400	0.416	0.097	2.913	0.008	0.015	0.023	2.890	0.050	1.017	1.271
	11	121	3.000	0.215	2.785	2.400	0.416	0.103	2.919	0.018	0.015	0.033	2.886	0.101	1.034	1.292
	14 ½	160	3.000	0.282	2.718	2.400	0.416	0.105	2.921	0.037	0.015	0.052	2.869	0.151	1.053	1.315
3	11	93	2.000	0.130	1.870	1.600	0.274	0.063	1.937	0.009	0.010	0.019	1.918	0.048	1.025	1.281
	14	122	2.000	0.167	1.833	1.600	0.274	0.064	1.938	0.018	0.010	0.028	1.910	0.077	1.040	1.300
	20	168	2.000	0.236	1.764	1.600	0.274	0.068	1.942	0.038	0.010	0.048	1.894	0.130	1.068	1.335
2	15 ½	90	1.000	0.078	0.922	0.800	0.132	0.030	0.962	0.006	0.005	0.011	0.951	0.029	1.031	1.289
	20	124	1.000	0.099	0.901	0.800	0.132	0.031	0.963	0.011	0.005	0.016	0.947	0.046	1.049	1.311
	28	157	1.000	0.138	0.862	0.800	0.132	0.032	0.964	0.024	0.005	0.029	0.935	0.073	1.078	1.347

Ce tableau est formé en supposant que la pression dans le tuyau d'échappement est nulle, c'est-à-dire en supposant qu'il n'y a que la pression atmosphérique.

Le travail théorique de la vapeur est calculé en conséquence, en défalquant un atmosphère de la tension absolue de la vapeur.

Toutes les pressions sont rapportées à la course entière, de manière à pouvoir les comparer facilement : les pressions effectives provenant de la vapeur qui s'échappe par les lumières sont extraites des tableaux précédents, avec une correction cependant que nous allons indiquer.

La pression utilisée se compose d'un travail à pleine vapeur pendant 0,8 de la course. C'est donc, comme pression moyenne, la pression effective totale multipliée par cette fraction.

La seconde partie pendant laquelle il y a détente existe pendant 0,153 de la course. Nous avons vu tout à l'heure que la pression moyenne était de 0,93 ; mais comme la détente se fait par rapport au vide, il faut qu'elle s'applique à la tension absolue, et que l'on défalque ensuite de la pression réduite 1 atmosphère. Ainsi, par exemple : à 3 atmosphères absolues, la pression moyenne de la vapeur pendant la détente sera de $3 \times 0{,}93 = 2$, atm. 79.

La pression effective deviendra 1, atm. 79, qui, multipliée par 0,153, donne une pression moyenne répartie sur la course entière de 0,274 qui figure dans le tableau.

Enfin, le travail dû à la pression de la vapeur qui s'échappe existe pendant 0,047 de la course ; on en a la mesure exacte dans le tableau 13, en supposant seulement que la tension initiale de la vapeur soit complète.

Par cela même qu'il y a eu détente, ce travail sera diminué. Nous supposons que cette diminution est proportionnelle aux pressions ; ainsi, par exemple : pour 3 atmosphères absolues de tension, la pression finale de la détente est de 0,85 de ce qu'elle était ; soit 2, at. 55, soit 1, at. 55 de pression effective au lieu de 2 : c'est $\frac{1{,}55}{2} = 0{,}77$ de ce qu'elle avait été à pleine vapeur.

Les pressions nuisibles de l'échappement après les 25° d'avance sont réduites dans la même proportion.

La contre-vapeur a déjà été calculée de 0,005 de la course ; on arrive donc facilement à la pression effective totale, quand il y a avance et recouvrement. On remarquera que ces pressions sont toujours plus considérables quand il y a avance que quand il n'y en a pas ; ainsi se confirme ce fait que *l'avance unie au recouvrement augmente la puissance de traction des machines fonctionnant dans leur état habituel de marche.*

Ceci est exact, même pour les plus faibles vitesses, ainsi, pour 6 lieues à l'heure et une vaporisation de 80 k. seulement par mètre quarré de surface de chauffe et par heure.

Cette augmentation de puissance varie de 1 à 8 pour 100; elle s'accroît avec la vitesse et avec la quantité de vapeur consommée.

Elle existe, bien que l'on ne dépense que 0,80 de ce que l'on aurait dépensé sans avance; et l'effet utile de la vapeur est augmenté dans une grande proportion.

Le bénéfice qui est indiqué dans la dernière colonne du tableau 14 varie de 26 à 35 pour 100. Il augmente avec la vitesse et dans une proportion plus considérable encore que nous ne le supposons; car à de grandes vitesses la détente a lieu plus tôt, et par conséquent une moindre quantité de vapeur est admise.

Ce bénéfice si grand est dû non-seulement à l'avance, mais au recouvrement qui empêche la contre-vapeur et augmente la détente en économisant la consommation.

Cependant nous allons faire voir que l'avance de 25° donne encore de l'économie, quand même on ne donnerait pas de recouvrement, et par conséquent malgré la grande résistance créée par la contre-vapeur.

Dans ce cas, la lumière n'est complètement fermée qu'à 155°; mais elle est tellement rétrécie à 147°, qu'on peut considérer qu'il n'y a pleine vapeur que jusque-là, ou pendant 0,92 de la course. La lumière d'échappement s'ouvre à 155°, ou à 0,953 de la course. Ainsi, il y a détente pendant 0,033 de la course; et la pression finale de la vapeur, au lieu d'être 1, sera de $1 \times \frac{0,920}{0,953}$ soit 0,965. La pression moyenne serait donc 0,980.

Il y aura à faire pour le tableau précédent les mêmes corrections pour la pression moyenne de la vapeur qui s'échappe, soit qu'on l'utilise ou qu'elle soit contraire. La contre-vapeur, à cause du petit recouvrement, existe pendant 0,04 de la course.

Le tableau suivant a été composé d'après ces documens; il s'applique aux mêmes données que le précédent, en supposant seulement qu'il n'y aurait un recouvrement que de 1/2 millimètre au lieu de 10 millim. 1/2.

TABLEAU 15. — Indiquant les pressions moyennes effectives contre le piston de la machine *Versailles* fonctionnant à des tensions de 5, 4, 3 et 2 atmos. et à des vitesses variables correspondant en général à des productions de vapeur de 90, 120 et 160 kilo. par heure et par m. q. de chauffe réduite. — Comparaison de l'effet utile de la vapeur : 1° sans avance ; 2° avec avance de 25° sans recouvrement.

Pression absolue de la vapeur en atmosphères.	Vitesse de marche en lieues par heure.	Vaporisation par heure et par mètre q. de chauffe réduite.	PRESSION MOY. EFF. sans avance.			PRESSION MOYENNE EFFECTIVE AVEC AVANCE SANS RECOUVREMENT.								DIFFÉRENCE DES PRESSIONS MOYENNES avec avance.		TRAVAIL DE LA CYLINDRÉE avec avance, le travail sans avance étant I.	TRAVAIL AVEC AVANCE, le travail de la vapeur à la même pression sans avance étant I.
						PRESSION UTILISÉE				PRESSION NUISIBLE.							
			Pression à pleine vapeur pendant la course entière.	Pression moyenne contre le piston par la vap. qui se détend par la lum. de sortie	Pression moyenne utile.	A pleine vapeur. 0.92 de la course.	Détente. 0.034 de la course. Press. moy.	Press. moy. due à la vap qui s'échap. par la lum. de sort. pend. les 1ers 25° réd.	TOTALE	Échappement réduit par la détente.	Contre-vapeur 0.04 de la course.	TOTALE.	Diff. des press. utiles et des pressions nuisibles ou pression utile finale.	+	—		
		kil.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.		
5	6	81	4.000	0.170	3.830	3.680	0.133	0.150	3.963	0.005	0.160	0.165	3.798	»	0.032	0.992	1.078
	9	121	4.000	0.235	3.765	3.680	0.133	0.156	3.969	0.020	0.160	0.180	3.787	0.022	»	1.006	1.094
	12	162	4.000	0.315	3.675	3.680	0.133	0.163	3.976	0.070	0.160	0.230	3.746	0.071	»	1.019	1.107
4	8	88	3.000	0.160	2.840	2.760	0.099	0.092	2.951	0.010	0.120	0.130	2.821	»	0.019	0.993	1.079
	11	121	3.000	0.215	2.785	2.760	0.099	0.098	2.957	0.021	0.120	0.141	2.817	0.032	»	1.011	1.099
	14 1/2	160	3.000	0.282	2.718	2.760	0.099	0.100	2.959	0.044	0.120	0.164	2.785	0.067	»	1.024	1.113
3	11	93	2.000	0.130	1.870	1.840	0.066	0.079	1.985	0.012	0.080	0.092	1.893	0.023	»	1.012	1.110
	14	122	2.000	0.167	1.833	1.840	0.066	0.080	1.986	0.022	0.080	0.102	1.884	0.051	»	1.028	1.117
	20	168	2.000	0.236	1.764	1.840	0.066	0.084	1.990	0.047	0.080	0.127	1.863	0.099	»	1.056	1.148
2	15 1/2	90	1.000	0.078	0.922	0.920	0.033	0.040	0.993	0.008	0.040	0.048	0.945	0.023	»	1.025	1.114
	20	124	1.000	0.099	0.901	0.920	0.033	0.041	0.994	0.015	0.040	0.055	0 939	0.038	»	1.042	1.132
	28	157	1.000	0.138	0.862	0.920	0.033	0.042	0.995	0.032	0.040	0.072	0.922	0.060	»	1.070	1.163

L'économie de vapeur est au moins de 8 pour 100, elle s'élève jusqu'à 16 pour 100 ; il est donc avantageux d'appliquer l'avance de 25°, même quand on ne donne pas de recouvrement.

Il y a augmentation de puissance de la machine excepté dans deux cas : pour des vitesses faibles de 6 et 8 lieues à l'heure et pour des consommations restreintes de vapeur; dans toutes les autres positions l'augmentation de puissance de la machine existe et s'élève jusqu'à 6 et 7 pour 100.

Du reste, il n'y a qu'une impossibilité comme celle d'une boîte à tiroir trop courte qui puisse empêcher de donner au tiroir un recouvrement extérieur.

Ainsi tous nos calculs nous conduisent à ce fait que l'avance du tiroir convenablement appliquée augmente la puissance des machines ; et cependant il est admis que cette même avance diminue leur force de traction. Ces deux faits si opposés peuvent cependant se concilier. Le premier est vrai quand la machine est en marche. Le second s'applique au moment du départ.

C'est alors une question d'équilibre seulement : il s'agit de tirer le plus grand parti de la pression que l'on a dans la chaudière ; il est clair que dans ce cas l'avance est nuisible en ce qu'elle produit une détente et même une contre-vapeur, et que le bénéfice que l'on retirerait de l'utilisation de la pression de la vapeur quand elle se détend par la lumière de sortie n'existe plus puisque la vapeur peut s'échapper presqu'instantanément.

Dans la marche de 25° et recouvrement de 10 mill. 1/2 il y a :

fermeture complète de vapeur à	137° ou 0,870 de la course,	
détente jusqu'à	155° ou 0,953 de la course, soit pend.	0,083,
contre-vapeur à	173° ou 0,995	0,005,

La pression initiale étant 1, la pression finale après la détente $= 1 \times \frac{870}{953} =$ 0,913 et la pression moyenne de 0,956.

Dans la marche avec avance sans recouvrement il y a pleine vapeur pendant 155°, ou 0,953 de la course, ouverture au même point, et contre-vapeur pendant 0,04 de la course.

Avec ces élémens on a établi le tableau suivant.

TABLEAU 16.

Donnant la comparaison des puissances de traction de la machine Versailles au moment du départ, et avec des pressions absolues de vapeur de 5, 4, 3 et 2 atmosphères : 1° avec avance à 25° et recouvrement de 10 millimètres et demi ; 2° avec avance de 25° sans recouvrement.

Pression absolue en atmosphères.	PRESSION MOYENNE effective sans avance, A PLEINE VAPEUR.	PRESSION MOYENNE EFFECTIVE avec avance de 25°. PRESSIONS UTILES. à pleine VAPEUR.	détente.	totale.	PRESSION NUISIBLE contre-vapeur.	PRESSION UTILE finale.	DIFFÉRENCE en faveur de la marche SANS AVANCE.	Diminution de puissance de traction pour LA MARCHE AVEC AVANCE.
1° AVEC AVANCE DE 25° ET RECOUVREMENT (1).								
	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.	atm.
5	4.000	3.480	0.315	3.795	0.020	3.775	0.225	0.056
4	3.000	2.610	0.236	2.846	0.015	2.831	0.169	0.056
3	2.000	1.740	0.156	1.896	0.010	1.886	0.114	0.057
2	1.000	0.870	0.076	0.946	0.005	0.941	0.059	0.059
2° AVEC AVANCE SANS RECOUVREMENT (2).								
5	4.000	3.812	»	3.812	0.160	3.652	0.348	0.087
4	3.000	2.859	»	2.859	0.120	2.739	0.261	0.087
3	2.000	1.906	»	1.906	0.080	1.820	0.180	0.087
2	1.000	0.953	»	0.953	0.040	0.913	0.087	0.087

(1) Pleine vapeur. . . . . 0,870 de la course.
Avec détente. . . . . 0,080.
Rapport de la pression moyenne avec détente à la pression initiale.
Pression absolue en atmosphères = P.
Pression moyenne effective de la vapeur pendant la détente = $(0{,}96 \times P) - 1$
Contre-vapeur. . . . . 0,005 de la course.
(2) Fraction de la course à pleine vapeur : 0,953.
à contre-vapeur : 0,040.

L'avantage reste encore ici à l'avance unie au recouvrement qui ne diminue que de 6 pour 100 environ la force de traction de la machine au moment du départ et quel que soit du reste la pression de la chaudière.

Cette différence est insignifiante et serait facilement compensée par une augmentation de pression dans la chaudière.

Si on ne donnait pas de recouvrement avec l'avance de 25°, la machine perdrait 9 pour 100 de sa puissance de traction au moment du départ.

Nous avons démontré l'utilité de l'avance du tiroir et nous en avons fait ressortir les avantages pour la machine *Versailles* dans diverses conditions de marche. Sans entrer dans des calculs analogues pour toutes les autres machines, nous dirons que l'utilité de l'avance existe pour toutes au point de vue de l'application de la détente; que sous ce rapport elle est encore plus grande pour les lumières étroites : que cette avance est d'autant plus nécessaire que les lumières sont moins grandes et que le tiroir a moins de course, parceque l'on économise une résistance plus grande et qu'on l'utilise même. Ces réflexions suffiront pour que nous n'ayons pas besoin d'y joindre des calculs étendus sur les autres machines.

En résumé :

Le mouvement de la vapeur dans les tiroirs peut se diviser en deux parties distinctes que nous avons examinées séparément : le mouvement de la vapeur à l'entrée, et celui de la vapeur qui a produit le mouvement et qui s'échappe.

L'admission de la vapeur par les lumières n'est pas un obstacle en général dans les dimensions usitées.

Avec une distribution sans avance ni recouvrement la vitesse d'admission par les lumières est constante; et comme la vitesse de passage de la vapeur est toujours réduite aux vitesses de marche ordinaires, la pression sur le piston est égale à celle de la chaudière s'il n'y a pas d'autre obstacle. A des vitesses plus considérables il peut y avoir étirage par la lumière, mais jamais assez sensible pour remplacer complètement celui qui est nécessaire par le régulateur pour que la chaudière suffise à l'alimentation des cylindres.

Avec l'avance les vitesses d'écoulement d'abord faibles au commencement deviennent égales à celles qui auraient lieu sans avance vers le milieu de sa course, et s'accroissent rapidement ensuite jusqu'à n'admettre que peu de vapeur et à fermer ensuite tout-à-fait l'orifice. Il en résulte d'abord que la quantité de vapeur admise sur le piston est à pleine pression jusque vers le milieu, qu'ensuite elle va en diminuant; la différence de pression qui se forme par la dilatation de la vapeur ne permettant qu'une fraction de la vitesse nécessaire pour que toute la vapeur pénètre, elle s'arrête complètement avant la fin et laisse ainsi agir la détente seule. La dépense de vapeur pour un cylindre est donc moindre avec de l'avance que sans avance. Le travail développé par la vapeur est aussi moindre, puisqu'il y a détente.

Si on ne donnait pas de recouvrement, ce travail théorique de la vapeur devrait être diminué encore de la contre-vapeur qui aurait lieu par suite de l'ouverture prématurée de la lumière d'admission.

L'avance du tiroir avec recouvrement a donc pour effet d'économiser de la vapeur en appliquant la détente, et elle n'est pas un obstacle à ce que la machine prenne de grandes vitesses.

En étudiant le mouvement de la vapeur par les lumières de sortie on remarque que les vitesses d'écoulement des volumes déterminés par la marche du piston sont toujours faibles et ne causent aucun obstacle, mais qu'il n'en est pas de même des résistances que la vapeur éprouve à s'échapper pendant qu'elle se détend jusqu'à la pression atmosphérique.

Cette détente de la vapeur qui vient d'agir à pleine pression sur le piston et qui doit s'échapper dans l'atmosphère rend l'avance du tiroir indispensable, car sans elle la vapeur conserve sa pression contre la marche du piston et lui crée une résistance considérable.

Pour que de la vapeur à 4 atmosphères dont la densité est de 2, k. 0962 se réduise à la pression atmosphérique, c'est-à-dire à la densité de 0,5882, il faut qu'il s'en échappe plus des deux tiers en poids. Elle ne peut passer ainsi subitement à la pression atmosphérique, elle baisse donc successivement par fractions d'atmosphère. Il est facile en connaissant la densité de la vapeur à diverses pressions successives de déterminer les quantités qui se sont écoulées successivement et leur volume. Le volume total écoulé est considérable, puisque de 4 atmosphères à la pression atmosphérique un volume de 100 laisse échapper un volume de 126,9 pour arriver à la pression atmosphérique. Il importe que ce volume s'échappe immédiatement, pour dégager en arrière le piston; mais au premier instant les lumières sont peu ouvertes, il en résulte alors que la pression se perpétue. On s'en rend compte très facilement en décomposant le mouvement des tiroirs par arcs de 5°, et en calculant les volumes qu'ils peuvent laisser échapper en partant des vitesses qui correspondraient aux pressions effectives que garde la vapeur et qui diminuent de plus en plus.

Ainsi, en mettant en regard: d'un côté les volumes écoulés et les vitesses nécessaires pour que les pressions s'abaissent, et de l'autre les surfaces des lumières et les volumes engendrés par leur combinaison avec les vitesses; on arrive à déterminer, pour chaque arc, la quantité de vapeur écoulée, sa vitesse et sa pression. Ces calculs faits pour la machine *Versailles* à 4 pressions effectives et pour des vitesses correspondant à ces diverses pressions et à trois forces de vaporisation différentes, c'est-à-dire pour 12 hypothèses de marche, nous ont donné un résultat constant: c'est que pendant les 10 premiers degrés la pression ne diminue presque pas, qu'au 25° degré elle est encore au moins égale à la moitié de la pression effective initiale, et en général plus

considérable; qu'elle se perpétue en outre jusqu'au 40 degré au moins et quelquefois jusqu'au 70ᵉ.

Ces calculs faits pour l'écoulement d'un cylindre supposé sans piston amèneraient à des résistances encore plus grandes si on tenait compte de la marche du piston et de la vapeur qu'il pousse devant lui. En présence de ces faits l'avantage de l'avance du tiroir est évidente. Une avance de 25° n'est certes pas très considérable; il en résulte que ces pressions encore si importantes qui ont lieu pendant l'échappement non seulement ne nuisent pas mais sont utilisées parce qu'elles agissent encore sur le piston pendant qu'il termine son mouvement; et quand celui-ci revient, les pressions que conserve la vapeur non encore complètement détendue ne s'appliquent plus qu'à de faibles parcours du piston et sont insignifiantes.

La combinaison du recouvrement et de l'avance ayant enfin pour effet de détendre la vapeur qui agit dans le cylindre, celle-ci a une moins grande tension au moment de l'ouverture du tiroir et par suite conserve au bout des 25° une tension moins forte et moins nuisible.

Cet inconvénient de la résistance créée contre le piston par la vapeur qui s'échappe, qui est si grave dans les machines locomotives et qui oblige à donner une grande avance au tiroir, existerait de même pour les machines fixes, si l'on n'appliquait toujours à celles-ci la détente au tiers ou au quart. Il en résulte que la vapeur est amenée naturellement dans le cylindre a la pression à laquelle elle peut s'échapper sans faire obstacle à la marche du piston. Là réside le véritable motif de l'avance du tiroir. Il n'est pas besoin alors d'insister sur le mauvais effet qu'il y aurait à mettre un recouvrement intérieur au tiroir : ce serait arrêter l'échappement.

Les raisons si graves qui indiquent la nécessité de l'avance font ressortir les inconvéniens d'un retard dans la distribution.

L'économie de résistance et l'utilisation de cette même résistance avec une avance de 25° ont donné pour la machine *Versailles* une économie de 8 à 11 pour 100 suivant les pressions, les vitesses et les vaporisations.

En joignant à ces avantages ceux d'une économie de vapeur due à la détente, l'avance du tiroir fait gagner 25 à 35 pour 100.

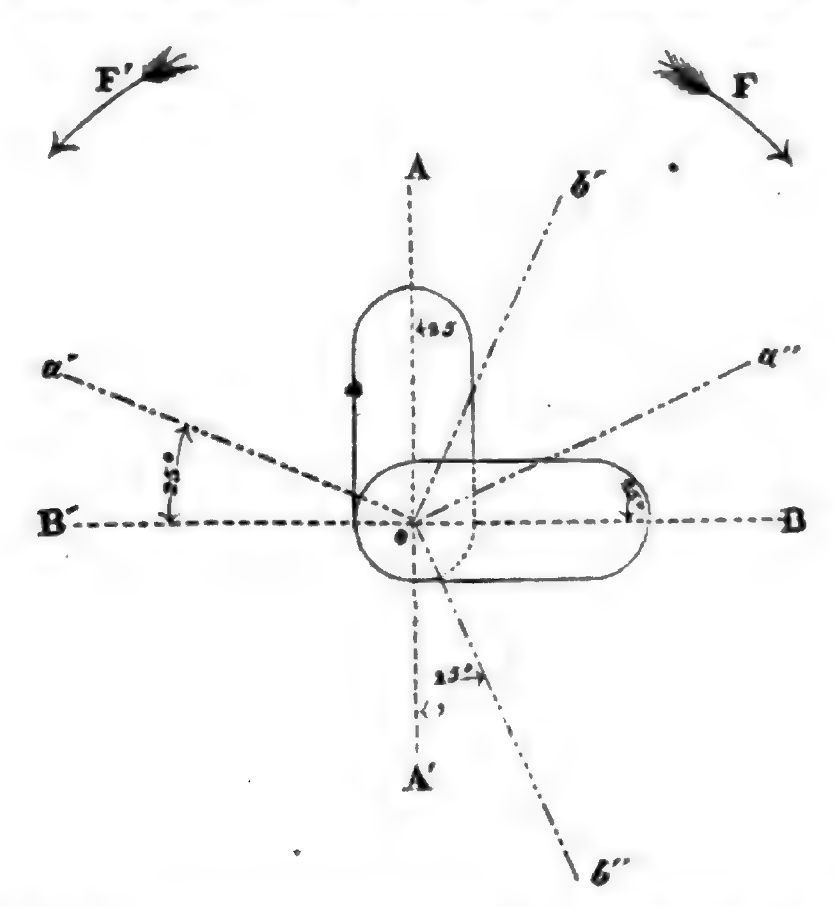
La force de traction de la machine pour la même pression de vapeur dans le cylindre est augmentée par l'avance du tiroir, parceque la résistance de la vapeur à la sortie, quand il n'y a pas d'avance, est plus considérable que la diminution de travail de la vapeur causée par la détente. C'est ce qui fait que l'économie qui, par la détente aux 4/5 de la course, ne devrait être que de 1/5 au plus s'élève à 1/4 et même à 1/3.

Si l'on compare les machines entre elles, on trouve que la résistance à l'échappement, par la lumière, est d'autant plus grande et se perpétue pendant un temps d'autant plus long que la lumière est moins large et que la course

du tiroir est plus faible. C'est encore une des raisons pour lesquelles nous avons dit que l'application de l'avance est plus nécessaire pour les machines qui ont de faibles entrées de vapeur que pour les autres.

Quant aux avantages dus au recouvrement combiné avec l'avance, ou, en un mot, à la détente, ils sont sensiblement les mêmes pour toutes les machines.

La nécessité reconnue d'une grande avance pour toutes les machines entraîne forcément l'usage de quatre excentriques. Les machines à deux excentriques doivent être rejetées parcequ'en les laissant dans les conditions ordinaires les positions des deux lignes d'axe des barres d'excentrique pour la marche en avant et pour la marche en arrière ne font qu'un angle de 8 à 10°. Il en résulte que si l'on donne 25° d'avance pour la marche en avant, on a 15° de retard pour la marche en arrière; sinon il faut raccourcir les barres d'excentrique et allonger les leviers de communication de mouvement aux tiroirs de manière à ce que l'angle soit de 25°, alors on n'a pas de retard. Si l'on veut avoir la même avance pour les deux marches, l'angle formé par les deux positions de la barre doit être de 50°, ce qui est impossible et ce qui entraînerait d'ailleurs de grandes irrégularités par suite du jeu des ressorts. Il est donc bien plus convenable d'appliquer les quatre excentriques de manière à régler l'avance à volonté. La position des excentriques dans le cas d'une avance de 25° est assez singulière, nous l'indiquons dans la figure ci-jointe.



a' et b' sont les excentriques de la marche en avant F, a'' et b'' ceux de la marche en arrière F'; au lieu d'être à angle droit avec les manivelles, les excentriques ne forment que des angles de 65°. Ainsi, les angles Aoa'' Bob'

Bob" Aoa' sont égaux à 65°, de même que les angles Aob' Boa" A'ob" B'oa, sont égaux à 25°.

Les calculs que nous venons d'exposer sur l'avance du tiroir, peuvent être contestés. Rien ne prouve, dira-t-on, que les formules sur lesquelles nous nous basons pour les vitesses, soient exactes. D'un autre côté on peut objecter que nous avons supposé à tort qu'il n'y a pas de pression dans le tuyau d'échappement.

Il est facile de répondre à ces deux objections, qui se présentent naturellement.

Les formules qui nous ont servi à la détermination des vitesses s'appuient sur les lois de la pesanteur : les chiffres qu'elles donnent sont donc des maximum et s'il y a une correction à faire, ce ne sera qu'en diminution de ces vitesses. La conséquence d'une diminution de vitesse serait la prolongation de la pression contre le piston, de la vapeur qui doit s'échapper et par suite, une perte de force plus considérable : l'avance du tiroir serait nécessaire *à fortiori*. Les résistances que nous avons calculées, bien que très considérables, sont donc des minimum ; et comme, si on les augmentait beaucoup, la marche du piston serait tellement entravée qu'il ne remplirait plus le travail qu'il effectue réellement, il en résulte que l'expérience donne ici la confirmation des formules sur l'écoulement de la vapeur.

La seconde objection porte ensuite sur ce que la pression dans le tuyau d'échappement est plus grande que la pression atmosphérique; que cette pression moyenne, comme nous le verrons tout-à-l'heure est même considérable; qu'ensuite c'est justement au moment où la vapeur se dégage du cylindre qu'elle est le plus élevée, parceque la vapeur arrive en masse. La conséquence de ces faits, c'est que la vapeur ayant plus de peine à se dégager oppose à la marche du piston un plus grand obstacle, que nous ne l'avions supposé, et rend encore l'avance du tiroir plus nécessaire.

Les calculs, en tenant compte du tuyau d'échappement, deviendraient si compliqués, que nous ne les avons pas faits; ils nous semblent même inutiles, car cette pression nuisible ne ferait qu'augmenter les résistances qui existent déjà, et par conséquent rendre les effets de l'avance plus convenables, puisque d'un côté elle diminuerait l'effet utile de la vapeur, et augmenterait la contre-vapeur sur le piston.

Nous étudierons séparément la pression de la vapeur produite par le rétrécissement du tuyau d'échappement à son extrémité.

Section III. — Du tuyau d'échappement et de la pression moyenne qu'il maintient contre le piston.

Les dimensions des tuyaux d'échappement des machines locomotives,

présentent de grandes anomalies. Quelques-uns ont un très grand orifice, pour une surface de chauffe assez faible, d'autres au contraire ont des orifices réduits pour de grandes surfaces de chauffe.

Il devrait cependant y avoir quelques règles générales. En principe, un tuyau d'échappement rétréci donne un tirage plus énergique, et produit par conséquent une plus grande quantité de vapeur en excitant la combustion du coke dans le foyer : mais il doit par suite maintenir une pression notable contre le piston.

Le calcul de la pression qui existe dans le tuyau d'échappement présente de nombreuses difficultés.

Cette pression dépend de la quantité de vapeur consommée, de sa tension et de la vitesse de marche; elle est essentiellement irrégulière pendant chaque demi-révolution, et conserve ensuite un mouvement périodique.

Calculer *à priori* la pression dans le tuyau d'échappement était donc un problème très compliqué; sans vouloir le résoudre immédiatement, nous avons cependant cherché à déterminer des espèces de proportionnelles à ce qui doit exister. Nous avons donc supposé qu'il y a un écoulement constant de la vapeur par le tuyau d'échappement, et nous avons déterminé sa vitesse d'écoulement et la pression correspondante pour certaines consommations de vapeur.

En supposant dans le tuyau d'échappement une pression constante, on doit admettre que la vapeur occupe le volume déterminé par cette tension.

Ainsi se donnant la consommation de vapeur par 1″ en poids, on détermine le volume de la vapeur par 1″ à la pression moyenne dans le tuyau d'échappement. Ce volume ainsi obtenu, doit s'écouler par le tuyau d'échappement dont la section est connue. La vitesse que l'on en déduit en tenant compte de la contraction de la veine correspond à une pression génératrice qui doit être exactement la même que celle que l'on a supposée.

Nous nous appuierons toujours sur ce fait, que toute vitesse d'écoulement a sa pression génératrice et réciproquement; qu'il y a enfin une loi qui les réunit et qui du reste est représentée dans le tableau page 207 de la note I.

On peut déterminer ainsi pour chaque centième d'atmosphère la vitesse d'écoulement correspondante.

Le coefficient de contraction a été pris égal à 0,90, le tuyau étant conique et présentant toujours à la partie inférieure quelques coudes et contours.

Le volume de la vapeur est obtenu immédiatement par le poids de la vapeur dépensée, divisé par le poids du mètre cube de la vapeur à la même pression. En agissant ainsi on admet que la vapeur à une haute pression qui se détend se refroidit en même temps et passe par les températures normales des pressions correspondantes de la vapeur en contact avec l'eau.

Ainsi, par exemple, on suppose que la vapeur à 5 atm. qui pèse 2 k. 682 en

se détendant à la pression atmosphérique n'occupera pas un espace cinq fois plus grand, mais que sa température qui était d'abord de 153° se sera abaissée à 100°, et que ce volume sera tel qu'il correspondra à la densité à 100°, soit, à 0, k. 5888 par mètre cube. Le volume qui était un mètre cube d'abord, deviendra à la pression atmosphérique $\frac{2,682}{0,5882} = 4,366$ m. c. au lieu de 5 m. c..

Cet abaissement de température de la vapeur qui se détend est parfaitement logique; il est même évident pour ceux qui admettent (et c'est la grande majorité en France) qu'un kilogramme de vapeur ne contient que la même quantité de chaleur, quelles que soient sa pression et sa température, pour vu que la vapeur soit saturée, c'est-à-dire, en présence de l'eau.

Nous insistons sur ce fait parceque le volume moyen, qui doit passer par le tuyau d'échappement, varierait sans cela avec les pressions initiales, et en supposant que les volumes augmentent en raison inverse des tensions initiales de vapeur.

Le tableau suivant fera ressortir, du reste, la différence qu'il y aurait entre les calculs.

TABLEAU 17.

Donnant la comparaison des volumes de vapeur dans les deux hypothèses de l'égalité de température et des densités variables.

TENSIONS ABSOLUES en atmosphères.	VOLUME du kilogramme DE VAPEUR à la pression indiquée et à sa température réelle.	VOLUME du kilogramme de VAPEUR détendue À LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE		AUGMENTATION DE VOLUME	
		en supposant LA TEMPÉRATURE constante.	d'après la DENSITÉ DE LA VAPEUR.	si la TEMPÉRATURE est constante.	d'après les DENSITÉS.
	m. c.	m. c.	m. c.		
5 00	0.38938	1.94690	1.70000	5.000	4.366
4.50	0.42836	1.92762	1.70000	4.500	3.969
4.00	0.47705	1.90820	1.70000	4.000	3.563
3.50	0.53910	1.88635	1.70000	3.500	3.153
3.00	0.62074	1.86222	1.70000	3.000	2.739
2.50	0.73345	1.83362	1.70000	2.500	2.318
2.00	0.89991	1.79982	1.70000	2.000	1.889
1.50	1.17159	1.75739	1.70000	1.500	1.451
1.00	1.70000	1.70000	1.70000	1.000	1.000

Si l'on admet que la température reste constante, les volumes de vapeur augmentent avec les tensions; de sorte que le même poids de vapeur employé aux tensions de 3 et de 2 atmosphères prendra pour arriver à la pression atmosphérique des volumes qui seront dans le rapport de 1,9469 à 1,7998.

En appliquant donc la première méthode au calcul du volume de la vapeur qui passe dans les tuyaux d'échappement, on a une vitesse plus grande si l'on part d'une forte tension initiale, et cette vitesse est moindre quand la tension est plus faible. En sorte qu'il en résulte qu'aux grandes pressions quand la machine va moins vite, la résistance dans le tuyau d'échappement est plus grande et cela pour la même dépense de vapeur.

En admettant au contraire, comme nous le faisons, que de la vapeur détendue à une certaine tension a la même densité et la même température que la même vapeur en présence de l'eau et à la même tension, nous aurons un volume constant, quand un même poids de vapeur sera dépensé, quelle que soit la tension initiale de la vapeur.

Le grand avantage de ce calcul ainsi réduit, c'est qu'il n'y a plus à s'inquiéter de la vitesse de la machine; il suffit d'avoir la consommation de vapeur par seconde.

Cette consommation de vapeur suppose d'ailleurs une certaine pression initiale et une certaine vitesse de piston, et par conséquent une vitesse de marche capable de l'absorber.

Pour calculer cette espèce de pression moyenne, *qui est un minimum constant*, il suffit de partir de la consommation de vapeur.

Le poids de vapeur à consommer en moyenne par heure est transformé facilement en volume de vapeur à la tension atmosphérique qui doit s'écouler par 1''. Le volume réellement écoulé est à une pression supérieure qui n'est pas tout-à-fait proportionnelle aux pressions elles-mêmes. Nous avons tenu compte de ces différences causées par les températures en recherchant les densités de la vapeur aux diverses pressions, et nous les donnons dans le tableau résumé suivant qui facilitera la suite de nos calculs.

TABLEAU 18.

Indiquant les densités de la vapeur à diverses tensions, la densité de la vapeur à la pression atmosphérique et à 100° étant 1.

Tensions absolues de la vapeur.	Densités de la vapeur.	Tensions absolues de la vapeur.	Densités de la vapeur.	Tensions absolues de la vapeur.	Densités de la vapeur.	Tensions absolues de la vapeur.	Densités de la vapeur.
at.		at.		at.		at.	
1.	1.000						
1.05	1.046	1.65	1.584	2.25	2.102	2.85	2.612
1.10	1.091	1.70	1.628	2.30	2.145	2.90	2.655
1.15	1.137	1.75	1.672	2.35	2.188	2 95	2.697
1.20	1.182	1.80	1.715	2.40	2.232	3.00	2,739
1.25	1.228	1.85	1.759	2.45	2.275	3.25	2.947
1.30	1.273	1.90	1.802	2.50	2.318	3.50	3.153
1.35	1.317	1.95	1.845	2.55	2.360	3.75	3.359
1.40	1.362	2.00	1.889	2.60	2.402	4.00	3.563
1.45	1.406	2.05	1.932	2.65	2.444	4 25	3.769
1.50	1.451	2.10	1.974	2.70	2.486	4.50	3.969
1.55	1.495	2.15	2.017	2.75	2.528	4.75	4.167
1.60	1.539	2.20	2.059	2.80	2.570	5.00	4.366

La densité de la vapeur étant ainsi connue, il suffit de diviser par elle le volume de vapeur à la pression atmosphérique pour avoir le volume cherché à la pression moyenne; les vitesses correspondantes à ces diverses pressions moyennes sont contenues dans le tableau (page 207).

Ces trois résultats de pression moyenne, volume écoulé et vitesse d'écoulement, se tiennent les uns aux autres; et ce n'est qu'après un certain tâtonnement que l'on arrive aux chiffres qui concordent ensemble, et que l'on peut tirer des conclusions.

Nous donnons dans le tableau suivant les résultats de ces calculs appliqués à seize machines des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles, et indiquant en même temps le travail employé au tirage.

TABLEAU 19. — Indiquant pour 16 machines locomotives des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles la pression moyenne effective de la vapeur dans le tuyau d'échappement calculée pour une quantité de vapeur employée de 120 kil. par heure et par mètre carré de chauffe réduite.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	SURFACE DE CHAUFFE RÉDUITE[1].	VAPORISATION de 120 k. par heure et par m. q. de chauffe réduite		ORIFICE D'ÉCHAPPEMENT.			CALCUL des pressions, volumes et vitesses moyennes dans le tuyau d'échappement.			TRAVAIL DE LA VAPEUR employé et force perdue par les vitesses d'échappement.	
		POIDS DE L'EAU évaporée par heure	VOLUME à la pression atm. de la vapeur produite par seconde[2]	DIAMÈTRE SUPÉRIEUR du tuyau d'échappement	SURFACE RÉELLE en centimètres carrés.	SURFACE RÉDUITE par le coefficient 0,90.	PRESSION MOYENNE EFFECTIVE	VOLUME de la vapeur à cette pression, etc.	Vitesse de la vap. par 1" correspondant à la press. général. moy.	Kilogrammètres	Chevaux.
	m. q.	kil.	m. c.	mil.			atm.	m. c.	mètres.		
Denys Papin	10.71	1293	0.6105	50	19.63	17.70	0.28	0.487	275	1364	18
Bury	13.07	1567	0.7399	56	21.63	22.20	0.26	0.593	267	1542	20
Tayleur	14.88	1787	0.8437	58	26.42	23.80	0.29	0.668	281	1937	26
Etna	16.88	2027	0.9570	66	34.21	30.80	0.23	0.791	256	1819	24
Jean Bart	14.21	1787	0.8437	55	23.76	21.40	0.34	0.645	301	2193	29
Stephenson	16.19	1947	0.9192	69	37.39	23.70	0.18	0.790	234	1422	19
Atlas	17.22	2067	0.9759	70	38.48	34.70	0.19	0.832	240	1581	21
Alsace	18.26	2193	1.0354	66	34.21	30.80	0.26	0.837	271	2176	29
Gauloise	19.33	2320	1.0954	56	24.63	22.20	0.49	0.760	342	3724	49
Bucéphale	19.78	2373	1.1204	76	45.36	40.80	0.18	0.961	235	1730	23
Creusot	20.56	2467	1.1648	70	38.48	34.60	0.26	0.942	272	2449	32
Alcide	20.93	2507	1.1837	66	34.21	30.80	0.33	0.910	225	3003	40
Vesta	21.27	2554	1.2059	63	31.17	28.10	0.39	0.891	317	3475	46
Schneider fr. (Exposition)	21.63	2596	1.2257	74	43.00	38.70	0.24	1.005	260	2412	32
Versailles	22.90	2747	1.2969	78	47.78	43.00	0.22	1.079	251	2074	27
Vésuve	23.16	2779	1.3121	70	38.48	34.60	0.32	1.017	294	3254	43

[1] Extrait du Tableau B.

[2] Ce sont les chiffres de la seconde colonne divisés par 3600 et multipliés par 1,700, (volume d'un kil. de vapeur à la pression atmosphérique, m. c.).

Les premières colonnes du tableau précédent n'ont pas besoin d'explication : elles renferment des dimensions et des surfaces déterminées.

Les huitième, neuvième et dixième colonnes qui indiquent les pressions moyennes, volumes écoulés et vitesses d'écoulement, doivent concorder ensemble ainsi qu'avec les chiffres contenus dans le tableau et dans celui de la page 207.

Prenons pour exemple la machine *la Versailles*, dont la vaporisation par 1'' est de 1 m. 2969 de vapeur réduite à la pression atmosphérique.

En supposant la pression *effective* dans le tuyau d'échappement de 0 at. 22, (1) la densité de la vapeur à 1 atm. 22 étant de 1,201 (intercalaire du tableau 18), le volume de la vapeur deviendra $\frac{1,2969}{1,201} = 1$ m. 079.

La section d'écoulement réduite par le coefficient de contraction est de 43 cq. La vitesse d'écoulement serait de $\frac{1 \text{ m. c. } 079}{0,0043} = 251$ m.

Or la vitesse d'écoulement de la vapeur à la pression effective 0,22 dans l'atmosphère est en effet de 251 m (intercalaire du tableau page 207).

Tous les autres calculs sont analogues.

Le travail moyen que la vitesse fournira en s'échappant pour produire le tirage dans la cheminée est donné dans les onzième et douzième colonnes. Il est calculé d'après la force vive de la vapeur et est égal à la moitié de cette force vive : ainsi en appelant T le travail par 1'' en kilogrammètres on a $T = \frac{1}{2} M V^2$; M est la masse du corps en mouvement, c'est-à-dire le poids de ce corps divisé par la gravité qui est de 9,81, nous avons supposé 10. D'où $M = \frac{P}{10}$, V est la vitesse indiquée au tableau, dixième colonne.

En analysant les chiffres contenus dans ce tableau, nous trouvons que les pressions moyennes ainsi calculées pour une vaporisation de 120 kil. par mètre carré de surface de chauffe réduite et par heure varient de 0 atm. 18 à 0 atm. 49, que les vitesses moyennes d'écoulement correspondantes sont de 234 m. à 342 m. par 1'', et que le travail restant à la vapeur serait encore de 18 à 50 chevaux.

D'énormes différences existent dans les diverses pressions et vitesses. Elles existent pour le même constructeur : ainsi *Stephenson* n° 1 a un tuyau de 69 millimètres de diamètre, tandis que *Vesta*, du même constructeur et ayant une surface de chauffe de 1/3 plus grande, n'a qu'un diamètre de 63 millimètres : il y a là une anomalie frappante.

(1) Hypothèse d'ailleurs purement gratuite et qui ne sera reconnue vraie qu'autant que la vitesse à laquelle nous arriverons permettra l'écoulement de la totalité de la vapeur formée.

Le travail que la vapeur conserve en s'échappant est encore très grand, puisqu'il s'élève jusqu'à 49 chevaux; mais ce travail n'est pas enlevé complètement à la machine, ou du moins ne lui est pas nuisible pour la totalité. La partie qui s'oppose au mouvement est représentée par la pression moyenne, et est d'autant plus grande proportionnellement que la pression effective est plus faible; ainsi quand la tension sur le piston est de 5 atmosphères, et que la pression contraire est de 1,22, il y a beaucoup moins de perte que quand dans une marche rapide la pression n'est que de 3 atmosphères. Dans le premier cas la perte sera de $^{22}/_{400}$ ou $^{1}/_{19}$ du travail théorique; dans l'autre elle sera les $^{22}/_{200} = ^{1}/_{9}$ de ce travail.

Les pressions moyennes ainsi calculées représentent-elles exactement les pressions véritables, c'est ce que nous examinerons tout-à-l'heure. Mais quels que soient les résultats, les chiffres de ce tableau sont des points de départ. Nous continuerons donc à les considérer comme exacts.

La consommation de vapeur n'est pas constante. La vaporisation de 120 kil. qui a été observée en moyenne sur le chemin de fer de Liverpool a été depuis beaucoup dépassée : elle s'est élevée à 160 et 200 kil. par mètre carré de surface de chauffe réduite et par heure.

Il arrive ensuite que dans quelques circonstances cette production de vapeur, ou du moins la quantité qu'on lance dans la cheminée, diminue beaucoup. Il importe donc d'étudier ce qui en résulte pour le tuyau d'échappement.

Nous donnons dans le tableau 20 les résultats de ce calcul pour des vaporisations de 30, 120 et 200 kil. par mètre carré de surface de chauffe réduite et par heure.

TABLEAU 20. — Indiquant les pressions moyennes effectives et les vitesses moyennes d'écoulement par le tuyau d'échappement de quelques machines des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles, en supposant que la production de vapeur ou que la quantité qui passe par les cylindres soit de 30, 120 et 200 kilo. par mètre quarré de surface de chauffe réduite et par heure.

NOMS DES CONSTRUCTEURS.	NOMS DES MACHINES.	DIAMÈTRE du tuyau d'échappement EN MILLIMÈTRES.	SURFACE de chauffe réduite.	Quantité de vapeur écoulée par 1" à la pression atmosphérique pour une production de vapeur par mètre q. et par heure (en kilogrammes) de			Pression moyenne effective en atmosphères dans le tuyau d'échappement calculée pour une vaporisation de			Vitesse moy. d'écoulement par le tuyau d'échappement pour une vaporisation de		
				30	120	200	30	120	200	30	120	200
			m. q.	m. c.	m. c.	m. c.	at.	at.	at.	m.	m.	m.
Stephenson.	Stephenson. .	69	16.19	0.2298	0.9192	1.5320	0 02	0.18	0.47	68	234	327
	Vesta.	63	21.27	0.3015	1.2059	2.0092	0.03	0.39	0.85	103	317	407
Sharp et Roberts.	Atlas	70	17.22	0.2440	0.9759	1·6265	0.02	0.19	0.45	69	240	332
	Vésuve.	70	23.16	0.3280	1.3121	2.1681	0.02	0.32	0.70	90	294	385
Jackson.	Denys Papin.	50	10.71	0.1526	0.6105	1.0175	0.02	0.28	0.61	80	275	371
	Versailles . . .	78	22.90	0.3252	1.2969	2.1615	0.02	0.22	0.51	74	251	346
Cavé.	Gauloise	54	19.33	0.2738	0.0954	1.8267	0.04	0 49	1.03	118	342	431
Stehelin.	Alcide	66	20.93	0.2959	1.1837	1.9729	0.03	0 33	0.72	93	295	389
Schneider.	Creusot	70	20.56	0.2912	1.1668	1.9414	0.02	0.26	0.58	83	272	364
	Exposition. . .	74	21.63	0.3064	1.2157	2.0429	0.02	0.24	0.56	78	260	352

Les pressions effectives varient; elles augmentent dans une proportion beaucoup plus grande que la production de vapeur, s'élèvent très haut quand celle-ci devient considérable et atteint le chiffre de 200 kil. par mètre carré et par heure.

Quand au contraire on dépense peu de vapeur, il n'y a que peu de tirage; et on a de la peine à entretenir le feu. Ainsi, d'un côté, un tirage fort énergique qui entrave la marche de la machine en maintenant une forte pression dans le tuyau d'échappement; de l'autre, un tirage insuffisant quand la consommation de vapeur est faible.

Ces résultats indiquent un perfectionnement qui manque aux machines: celui de rendre variable l'orifice du tuyau d'échappement.

Après avoir étudié ces résistances à l'échappement sous un point de vue général, il est nécessaire de corroborer les résultats obtenus de deux manières :

1° En analysant ces résistances pendant chaque quart de roue, et tenant compte des vitesses de marche.

2° En faisant des expériences directes par l'application d'un manomètre aux tuyaux d'échappement.

Les considérations suivantes sont destinées à offrir des chiffres de vérification et fourniront la preuve que quoique les résultats auxquels nous sommes arrivés pour les résistances du tuyau d'échappement soient considérables, elles sont cependant au-dessous de la réalité.

La méthode de calcul est assez difficile; nous avons supposé d'abord que la vapeur de chacun des cylindres devait s'écouler immédiatement, nous avons déterminé par arcs de 5° le volume de vapeur qui doit s'écouler, et nous en avons tiré les pressions moyennes effectives, les vitesses et le travail que renferme la vapeur pendant chacun de ces élémens.

Le volume de vapeur qui s'échappe provient de la marche de chacun des pistons, et, de plus, de la vapeur qui se détend pendant les premiers arcs de l'ouverture de la lumière de sortie.

Les chiffres de ce tableau sont extraits d'une série de calculs faits pour diverses hypothèses de tension et de vitesse de marche; comme ils s'appliquent à la même production de vapeur, chacune des quatre tensions de vapeur correspond à une vitesse de marche différente.

TABLEAU 21.

Indiquant les pressions effectives, la vitesse d'écoulement et le travail de la vapeur dans le tuyau d'échappement de la machine Versailles pour quatre tensions de vapeur différentes, et aux vitesses de marche correspondantes, de manière à ce que la consommation de vapeur soit d'environ 120 kilo. par m. q. de chauffe réduite et par heure.

Angles en degrés.	Tension absolue de la vapeur. 5 at. Vitesse de marche en lieues.... 9 Vaporisation effective...... 121 k. Nombre d'arcs de 5° par 1''... 133 Temps de la demi-course..... 0''.135			Tension absolue de la vapeur. 4 at. Vitesse de marche en lieues.... 11 Vaporisation effective...... 120 k. Nombre d'arcs de 5° par 1''... 168 Temps de la demi-course..... 0''.110			Tension absolue de la vapeur. 3 at. Vitesse de marche en lieues.... 14 Vaporisation effective...... 122 k. Nombre d'arcs de 5° par 1''... 207 Temps de la demi-course..... 0''.087			Tension absolue de la vapeur. 2 at. Vitesse de marche en lieues.... 20 Vaporisation effective...... 124 k. Nombre d'arcs de 5° par 1''... 296 Temps de la demi-course..... 0''.061		
	Pression moyenne effective dans le tuyau.	Vitesse d'écoulement par 1''.	Travail dû à la vitesse d'écoulement en kilogrammètres.	Pression moyenne effective dans le tuyau.	Vitesse d'écoulement par 1''.	Travail dû à la vitesse d'écoulement en kilogrammètres.	Pression moyenne effective dans le tuyau.	Vitesse d'écoulement par 1''.	Travail dû à la vitesse d'écoulement en kilogrammètres.	Pression moyenne effective dans le tuyau.	Vitesse d'écoulement par 1''.	Travail dû à la vitesse d'écoulement en kilogrammètres.
	at.	m.	k.	at.	m.	k.	at.	m.	k.	at.	m.	k.
5	0.0	156	0.384	0.07	149	3.907	0.06	142	1.845	0.07	151	1.56
10	0.3	297	32.465	0.27	270	19.027	0.19	236.	9.415	0.15	214	4.79
15	0.61	370	74.679	0.50	343	45.468	0.36	305	22.971	0.25	266	9.91
20	0.78	399	102.604	0.67	380	68.157	0.50	341	35.175	0.35	300	15.12
25	0.82	404	108.691	0.74	392	77.829	0.56	360	42.898	0.41	322	19.23
30	0.70	385	88.191	0.67	381	71.103	0.57	360	43.092	0.42	325	20.17
35	0.58	363	69.190	0.60	366	60.998	0.55	355	40.761	0.43	328	22.04
40	0.44	316	46.020	0.47	336	41.942	0.48	337	33.443	0.50	343	24.92
45	0.26	268	19.442	0.30	285	22.945	0.37	311	24.567	0.37	307	16.25
50	0.025	199	8.275	0.18	231	11.226	0.27	372	15.355	0.34	299	14.93
55	0.015	73	0.378	0.05	126	1.606	0.18	238	8.450	0.24	262	9.37
60	0.015	72	0.360	0.02	88	0.534	0.03	110	0.847	0.16	218	5.06
65	0.015	70	0.333	0.02	86	0.503	0.03	109	0.808	0.07	150	1.53
70	0.015	68	0.305	0.02	83	0.454	0.03	105	0.727	0.06	147	1.43
75	0.012	66	0.275	0.02	80	0.403	0.03	101	0.648	0.06	141	1.36
80	0.011	62	0.230	0.02	76	0.347	0.03	96	0.543	0.05	134	1.08
85	0.010	59	0.198	0.01	72	0.293	0.02	91	0.482	0.05	127	0.92
90	0.010	55	0.158	0.01	67	0.225	0.02	84	0.371	0.05	118	0.73
	Moyenne.			Moyenne.			Moyenne.			Moyenne.		
	0.284	204		0.257	211		0.237	218		0.224	231	
Totaux..........			552.178	.....	.....	426.967	.....	.....	282.388	.....	.....	170.41
Travail par 1''...			4090 k.	.....	.....	3876 k.	.....	.....	3257 k.	.....	.....	2793 k.
Nombre de chevaux.			54 ch.	.....	.....	51 ch.	.....	.....	43 k.	.....	.....	37 ch.

Nous croyons devoir faire suivre ce tableau d'un exemple numérique, pour donner l'explication de quelques-uns des chiffres qu'il contient.

Supposons une tension absolue de quatre atmosphères, et une vitesse de onze lieues à l'heure, et cherchons la pression moyenne effective, la vitesse d'écoulement et le travail pendant un arc de 5°, de 30° à 35° par exemple.

La quantité de vapeur fournie par les pistons en marche est donnée par le tableau 4 (troisième colonne), et l'on a :

1ᵉʳ cylindre à 35°	0,92340	2,36835 d. c.
2ᵉ cylindre à 125°	1,44495	

La quantité de vapeur qui se détend par la lumière de sortie est donnée dans la colonne 14ᵉ du tableau 10. Elle est dans le passage de 30° à 35° de 6 d. c. 972 à la tension de 1 atm. 94; en le réduisant à la pression atmosphérique, le volume devient 12 d. c. 836. Le volume total écoulé pendant cet arc de 5° sera donc (en réduisant à la tension atmosphérique) :

1° pour le volume déterminé par les deux cylindres de 2 d. c. 368

2° pour le volume de vapeur qui s'échappe en se détendant de 12 d. c. 835

Total 15 d c. 203

Or la surface réduite du tuyau d'échappement est de 43 centim. carrés.

Le nombre d'arcs de 5° par seconde est 168. Pour obtenir immédiatement les vitesses de passage en mètres par 1'', il convient de diviser la surface du tuyau d'échappement par le nombre d'arcs, ou par 168; ce qui la réduit à 0, décim. 00254. Les 15 décim. 203 de vapeur doivent passer par cet orifice; évidemment il y a une pression assez considérable: en la supposant de 1 atmosph. 60, ou de 0 atmosph. 60 effective, le volume se réduit à $\frac{15,203}{1,536} = 9,378$. — 1,536 étant la densité de la vapeur à cette pression (Voir tableau 18).

La vitesse de passage sera de $\frac{9,378}{0,00264} = 3660$ décim. ou 366 m.; ce qui correspond sensiblement (voir le tableau page 207) à la pression génératrice 0,60 que nous avons supposée. Ainsi s'obtiennent les deux chiffres des cinquième et sixième colonnes correspondant à l'angle de 35°. Le travail pour chaque fraction écoulée est obtenu par la *moitié de la force vive*, ou la moitié du poids de la vapeur multiplié par le carré de sa vitesse et divisé par sa gravité. Ainsi, dans ce cas particulier, le poids de la vapeur est de 15 d. c. 203 $\times$ 0, k. 0005882 = 0, k. 00894.

Le travail sera alors de $\frac{0,00894}{2} \times \frac{366 + 366}{9,81} = 60998$ kilogrammètres.

C'est ainsi que les chiffres pour les divers angles et les diverses pressions ont été obtenus.

Les moyennes obtenues pour les quatre vitesses sont loin de s'accorder avec celles que nous avons calculées d'une manière générale pour la machine *Versailles* dans le tableau 19.

Les pressions moyennes sont toutes plus fortes que celles que nous avons calculées, et d'autant plus que la tension initiale de la vapeur est plus grande.

Les vitesses moyennes, au contraire, sont toujours plus faibles, et d'autant plus que les tensions initiales sont plus grandes.

Enfin le travail de la vapeur qui s'écoule dépasse énormément les calculs moyens, et augmente dans une forte proportion avec les tensions de vapeur.

Il y a lieu de conclure des différences qui existent entre les résultats des tableaux 19 et 21, c'est-à-dire en prenant pour base l'écoulement moyen ou l'écoulement calculé par arc de 5°, que les calculs que nous avons faits d'abord sont des minimum qui deviendraient exacts pour une vitesse de marche tellement rapide que la pression sur le piston fût égale à celle dans le tuyau d'échappement, la machine étant supposée poussée par une autre ou continuant son mouvement par inertie. Dans tout autre cas, les pressions moyennes réelles doivent être plus considérables ; et les calculs primitifs ne doivent être considérés que comme des minimum. Ils étaient déjà fort élevés; on peut apprécier ainsi quelle est l'importance de l'obstacle résultant du tuyau d'échappement.

D'après l'inspection du dernier tableau, il paraîtrait au premier coup d'œil que la pression dans le tuyau d'échappement augmente avec la tension de la vapeur, et que, pour la même consommation, elle varie en raison inverse de la vitesse ; qu'ainsi elle diminue à mesure que la vitesse augmente pour une consommation de vapeur constante.

La diminution de la pression moyenne est du reste peu sensible, mais une cause qui doit agir puissamment sur le tirage et qui rend à la vitesse toute son influence c'est la continuité du jet et la fréquence des échappemens.

On ne peut se dissimuler en effet que le tirage n'est produit que par un écoulement rapide de vapeur, et que par conséquent il n'a lieu que pendant que la vapeur s'échappe du cylindre au moment de l'ouverture ; si nous partons d'une vitesse de 200 m. comme minimum nécessaire pour le tirage, et si nous tenons compte du nombre d'arcs pendant lequel elle est plus petite, on arrive au tableau suivant.

TABLEAU 22.

Indiquant les variations de vitesses pendant le passage des différents arcs aux diverses pressions.

	PRESSIONS EN ATMOSPHÈRES.			
	5	4	3	2
Nombre d'arcs pendant lesquels la vitesse dépasse 200 mètres par 1 ''..........	8	9	10	11
Nombre d'arcs pendant lesquels elle est au-dessous	10	9	8	7
Vitesse minimum d'écoulement........	55	67	84	118
Vitesse moyenne....................	204	211	218	231
Vitesse maximum....................	404	392	360	343
Temps pendant lequel la vitesse est moindre que 200 mètres	0.075	0.055	0.039	0.024
id. en fraction de secondes..........	$^1/_{13}$	$^1/_{18}$	$^1/_{26}$	$^1/_{42}$

Le temps pendant lequel la vitesse est moindre que 200 m., peut être considéré comme l'intervalle entre les coups de tirage, on remarque qu'il est beaucoup plus considérable pour les plus fortes tensions et les petites vitesses de marche que pour les faibles tensions et les grandes vitesses.

Il y a dans cette augmentation de durée de l'échappement un moyen énergique de tirage qui explique comment à de grandes vitesses on doit produire beaucoup plus de vapeur.

Cette augmentation dans la production de vapeur augmente naturellement aussi la force de tirage. On comprend alors que la pression dans le tuyau d'échappement devient si considérable qu'elle assigne une limite à la vitesse de marche de la machine, quoique la vaporisation prenne un grand développement.

La résistance que les pistons éprouvent est sensiblement représentée par la pression moyenne; car il n'y a aucun doute que la pression la plus forte qui existe au moment de l'échappement de la vapeur de l'un des pistons se reporte sur l'autre, qui, à ce moment, est au milieu de la course.

La combinaison des deux manivelles à angle droit permet de supposer la

pression moyenne appliquée contre les deux pistons. Le travail absorbé est donc considérable.

La forme des tuyaux d'échappement doit influer enfin sur le tirage ; sous ce rapport ils peuvent se ranger en trois catégories :

1° Les tuyaux presque cylindriques dans lesquel la vapeur a une très-forte pression ; ils ne réussissent pas bien et maintiennent sur l'autre piston une pression considérable.

2° Le tuyau conique, dont la section inférieure est quatre fois environ celle de l'échappement ; c'est la forme la plus générale et qui donne de bons résultats : elle permet une certaine détente qui admet des différences de pression, toujours en conservant au tirage l'énergie qu'il a dans le premier instant de l'échappement.

3° La troisième forme est extrêmement large du bas ; le tuyau d'échappement prend alors une fort grande capacité et est terminé par un orifice plus rétréci : tel est le tuyau d'échappement de la dernière machine de Stephenson, la *Vesta*. Cela peut expliquer l'espèce d'anomalie que nous avons précédemment signalée entre deux machines de ce constructeur.

Le grand volume du tuyau d'échappement permet des compressions et des détentes qui amortissent la grande différence de pression, et permet de rétrécir les orifices des tuyaux avec moins d'inconvéniens ; évidemment, pour ces sortes de tuyaux, les calculs que nous avons faits primitivement se rapprochent davantage de la vérité que pour les autres.

Il ressort de tous les calculs et de toutes les considérations qui précèdent que la pression moyenne qui existe dans le tuyau d'échappement est toujours considérable, surtout pour les machines destinées au service des voyageurs et qui doivent produire beaucoup de vapeur.

Désormais, dans les calculs des machines locomotives, il faudra tenir compte de cette résistance de la vapeur à l'échappement.

Il y a lieu enfin de rechercher les moyens de diminuer cette résistance, tout en conservant au tirage une pression suffisante.

Il eût été nécessaire de contrôler ces calculs par des expériences directes sur la pression dans le tuyau d'échappement de diverses machines déjà citées. On aurait vu ainsi de combien les pressions observées dépassent celles qui sont indiquées par le calcul. Ces expériences sont commencées. Déjà nous avons eu la confirmation de nos calculs, mais elles ne sont pas assez nombreuses ni assez générales pour en tirer des conclusions bien nettes [1].

(1) Le manomètre appliqué sur la machine *la Gauloise* a indiqué parfois une pression de 2 at. $^1/_4$ et 2 $^1/_2$ dans une marche de 9 et 10 lieues à l'heure seulement.

SECTION IV. — DES CHEMINÉES ET DU TIRAGE, CONDUITS DE FUMÉE, GRILLES, etc.

Dans la section précédente nous avons fait ressortir le travail énorme qui est consacré dans les machines locomotives à produire le tirage ; nous rechercherons ici l'emploi de ce travail. Il est intéressant, en effet, de savoir si cette puissance consacrée au tirage est nécessaire, ou si elle est mal appliquée ; ou, en d'autres termes, si elle ne représente qu'un effet utile tellement faible qu'il conviendrait mieux de faire usage d'un autre mode d'action.

Dans les générateurs ordinaires de vapeur le tirage a lieu par la seule différence de densité de l'air échauffé qui est lancé dans l'atmosphère au moyen d'une haute cheminée. La différence de poids de la colonne d'air échauffé avec celle de la même colonne d'air froid, constitue la force génératrice qui imprime à l'air un mouvement ascensionnel et qui produit par conséquent un appel suffisant d'air froid sur la grille en maintenant dans les carneaux la vitesse d'écoulement nécessaire. Le travail affecté au tirage est très faible, si on analyse la puissance que renferme l'air ainsi échauffé ; et en tous cas il n'absorbe pas de travail à la machine, puisque c'est l'air qui a agi sur le foyer qui forme seul le tirage.

Dans quelques appareils de chauffage de l'eau (pour les bains par exemple), on a cherché à enlever toute sa chaleur à l'air au moyen de parcours suffisans le long de surfaces refroidies ; et on a produit le tirage par un moyen mécanique, par un ventilateur. La force nécessaire pour mettre en mouvement le ventilateur était très-faible, d'autant plus que l'air étant refroidi n'avait pas besoin de prendre une aussi grande vitesse que s'il eût été encore échauffé.

Dans les machines locomotives on ne pouvait profiter de la diminution de densité de l'air ; ce moyen eût été insuffisant d'abord, et impossible parceque les cheminées ne peuvent avoir qu'une hauteur restreinte.

On a fait usage pendant quelque temps de ventilateurs, mais ils étaient gênans et insuffisans encore.

L'application du jet de vapeur dans la cheminée était le seul moyen simple et qui présentât une grande efficacité. C'est en effet depuis cette époque que l'on a pu produire dans les machines locomotives cette activité énorme de combustion qui a permis d'atteindre de grandes vitesses avec des convois très-considérables.

La puissance de ce moyen de tirage est énorme ; nous en avons approximativement donné la mesure dans la section précédente. Ici nous chercherons à apprécier le travail qui est nécessaire à la combustion, et qu'il faut dépenser pour imprimer a la fumée les vitesses convenables.

Le point de départ de la puissance de toute machine locomotive est la

surface de chauffe; c'est aussi de là que nous partirons pour contrôler et comparer les dimensions des conduits de fumée et des appareils de tirage.

La consommation de combustible devra être sensiblement proportionnée à la surface de chauffe ; et pour nous mettre d'accord avec nos calculs précédens, pour lesquels nous avons supposé une vaporisation de 120 kil. par mètre carré de chauffe réduite et par heure, nous supposerons que la consommation de combustible par heure, proportionnelle à la surface de chauffe réduite, est de 24 kil. par mètre carré de cette surface, en supposant, ce qui n'est pas loin de la vérité, que chaque kilogramme de coke dans la chaudière tubulaire évapore 5 kil. d'eau. Nous pourrons rechercher également la quantité d'air qui est nécessaire, le volume de cet air à la haute température de la cheminée, le travail qu'il exige pour être mis en mouvement, etc. Mais, ces calculs présentant plusieurs incertitudes, nous commencerons par donner ici les dimensions des cheminées, des sections de fumée et de grille; et nous chercherons les rapports qui existent avec les surfaces de chauffe réduites, afin que l'on ait un aperçu des habitudes des divers constructeurs : nous nous rendrons compte ainsi des dimensions avant d'entrer dans les calculs.

Nous avons jugé convenable de joindre au tableau les surfaces des tuyaux d'échappement qui font naturellement partie de la cheminée comme appareil de tirage.

TABLEAU 23. — Indiquant pour les machines des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite) les rapports de la surface de chauffe aux surfaces de la cheminée, du tuyau d'échappement, des tubes de fumée, de la grille, et le nombre de kilo. de coke brulés par décim. carré de surface de grille.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	Surface de chauffe réduite en mèt. q.	DIAMÈTRES		SURFACES				RAPPORT DE LA SURFACE DE CHAUFFE RÉDUITE, A LA SURFACE				NOMBRE de kilo. de coke à brûler par heure par décim. q. en admettant pour une consommation de 24 h. par m. q. de surface de grille
		de la cheminée en mètres.	du tuyau d'échappem. en millim.	de la cheminée en mètre q.	du tuyau d'échappem. en décim. q.	section des tubes de fumée en mèt. q.	de la grille en mètres q.	de la cheminée	du tuyau d'échappem.	des tubes de fumée.	de la grille.	
CHEMIN DE SAINT-GERMAIN												
Denys Papin	10.71	0.340	50	0.0908	0.1963	0.1082	0.653	118	5455	98.9	16.4	3.93
Bury	13.07	0.340	56	0.0908	0.2463	0.1611	0.659	144	5306	81.2	18.3	4.76
Tayleur	14.88	0.330	58	0.0855	0.2642	0.1412	0.620	174	5632	105.4	24.0	5.75
Etna	16.88	0.350	66	0.0962	0.3421	0.1597	0.740	175	4934	105.7	22.8	5.47
CHEMIN DE VERSAILLES												
Jean Bart	14.91	0.370	55	0.1075	0.2376	0.1378	0.639	138	6275	108.2	23.3	5.60
Stephenson	16.19	0.340	69	0.0908	0.3739	0.1832	1.087	178	4330	88.4	14.8	3.57
Atlas	17.22	0.330	70	0.0855	0.3848	0.1445	0.767	201	4475	111.5	22.4	5.38
Alsace	18.26	0.350	66	0.0962	0.3421	0.1882	0.854	189	5337	99.1	21.3	5.12
Gauloise	19.33	0.330	56	0.0855	0.2463	0.1943	1.066	226	7848	99.5	18.1	4.35
Bucéphale	19.78	0.370	76	0.1075	0.4536	0.2179	0.870	184	4360	90.7	22.7	5.46
Creusot	20.56	0.330	70	0.0855	0.3848	0.2082	1.020	240	5343	98.7	20.1	4.83
Alcide	20.93	0.350	66	0.0962	0.3421	0.2082	0.870	217	6118	100.4	24.0	5.77
Vesta	21.27	0.340	63	0.0908	0.3117	0.2460	1.039	234	6823	86.4	20.4	4.91
Schneider fr. (Exp)	21.63	0.320	74	0.0804	0.4300	0.1733	1.150	268	5030	124.8	18.8	4.51
Versailles	22.90	0.380	78	0.1134	0.4778	0.2149	0.972	202	4792	106.5	23.3	5.66
Vésuve	23.16	0.370	70	0.1075	0.3848	0.2041	1.102	215	6018	113.4	21.0	5.04
Moyennes pour les machines du chemin de Saint-Germain								152.8	5332	97.8	20.4	4.98
— de Versailles								207.6	5562	102.3	21.1	5.08
Moyennes générales								194	5505	101.0	21.5	5.05

Des variations très-grandes se manifestent dans les rapports des cheminées et des tuyaux d'échappement; non-seulement les dimensions des cheminées sont exagérées dans un sens ou dans l'autre, ainsi que les tuyaux d'échappement, mais il arrive encore que les grandes cheminées ont de petits tuyaux et réciproquement.

Cependant les moyennes obtenues présentent de l'intérêt.

Le rapport de la surface des tubes, aussi bien que celui de la grille, offre plus d'uniformité.

Quant à la consommation de coke par la grille, elle représente les mêmes rapports que ceux de la surface de chauffe à la surface de la grille; ce sont ces rapports exprimés seulement d'une autre manière qui permettront de comparer les machines locomotives aux machines fixes.

Pour nous appuyer sur des données plus nombreuses, nous avons fait un tableau pour les douze machines locomotives du chemin de fer de Liverpool à Manchester, dont les dimensions sont données par M. de Pambour.

Le tableau suivant contient seulement les rapports généraux qui sont principalement utiles.

TABLEAU 24.

Indiquant pour douze machines locomotives du chemin de fer de Liverpool le rapport de la surface de chauffe réduite à la surface de la cheminée, du tuyau d'échappement, des tubes de fumée, et de la grille.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	SURFACE de chauffe réduite en mètres carrés	RAPPORT DE LA SURFACE DE CHAUFFE RÉDUITE A LA SURFACE				Nombre de kil. de coke à brûler par heure et par decim. carré de grille pour une consommation de 24 kil. par m. q. de chauffe réduite.
		de la cheminée.	du tuyau d'échapp. (1)	des tubes de fumée.	de la grille.	
CHEMIN DE FER DE LIVERPOOL A MANCHESTER.						
Samson	16.662	207	»	90.2	23.8	5.70
Jupiter	10.384	142	»	98.2	18.3	4.40
Goliath	16.366	203	»	92.8	23.4	5.63
Vulcan	12.733	136	»	88.8	21.1	5.06
Fury	12.586	135	»	87.7	21.1	5.30
Victory	12.135	130	»	93.3	20.8	4.99
Atlas	12.061	165	2741	138.4	14.0	3.37
Vesta	12.214	178	»	123.3	18.6	4.46
Liver	12.492	133	»	91.9	16.5	3.97
Ajax	10.106	109	»	79.4	17.8	4.30
Leeds	12.758	136	5571	88.9	22.1	5.31
Firefly	15.305	164	4753	103.8	22.9	5.51
Moyennes		153	»	98.1	20.1	4.83
— des machines de St-Germ.		153	53.3	97.8	20.4	4.98
— des machines de Versailles		208	55.6	102.3	21.1	5.08
Moyennes générales		177	»	99.8	19.8	4.96

(1) Les diamètres des tuyaux d'échappement ne sont pas indiqués pour toutes les machines d'une manière rigoureuse; ils varient de 57 à 64 millimètres, en se rapprochant de 64 d'après M. de Pambour.

Le rapport en général sera donc plus faible que pour les dernières machines.

Les moyennes obtenues pour les douze machines du chemin de fer de Liverpool, que nous venons de calculer, diffèrent peu en général des rapports calculés pour les machines des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles.

Un seul point peut être excepté, celui des cheminées. Leur surface est presque restée stationnaire, ou n'a point augmenté dans une proportion aussi considérable que les surfaces de chauffe. Ceci ressort bien nettement des rapports indiqués au tableau précédent. Pour les machines de Liverpool, le rapport de la surface de chauffe réduite à la surface de la cheminée est de 153 en moyenne. Pour le chemin de fer de Saint-Germain ce rapport est encore de 153, tandis que pour le chemin de Versailles il s'élève jusqu'à 268 et en moyenne à 208.

En supposant, comme il est naturel de le penser, que ces machines consomment du combustible proportionnellement à leur surface de chauffe, il en résultera que les vitesses d'écoulement de la fumée seront proportionnelles aux rapports que nous venons d'indiquer; et par conséquent beaucoup plus grandes pour les machines du chemin de Versailles que pour toutes les autres.

Les rapports de la section des tubes de fumée aux surfaces de chauffe réduites présentent moins de différence: ils varient de $^1/_{80}$ à $^1/_{125}$, et sont en moyenne générale de $^1/_{100}$. La vitesse d'écoulement de la fumée par les tubes est donc restée dans les nouvelles machines ce qu'elle était précédemment: seulement, rapportée à la cheminée, cette surface est une fois et demie aussi grande pour les machines du chemin de Saint-Germain; elle en est le double dans les machines de celui de Versailles.

Les surfaces de grille rapportées aux surfaces de chauffe ne présentent que très peu d'anomalies, le rapport moyen est de 1/21, et correspond à une consommation de coke de 5 kil. environ par décimètre carré de surface de grille, et par heure, en supposant que la consommation totale par heure soit en moyenne de 24 kil. par mètre carré de chauffe réduite.

La section du tuyau d'échappement est en moyenne générale de $^1/_{5500}$, de la surface de chauffe réduite : dans quelques machines ce rapport s'élève jusqu'à $^1/_{7850}$; dans d'autres il s'abaisse à $^1/_{4430}$,mais la moyenne s'écarte peu de la généralité.

Pour rechercher le travail qu'il est nécessaire de dépenser pour imprimer à la fumée une vitesse convenable, nous avons été obligés de partir de quelques règles admises pour toutes les autres chaudières, et de les appliquer aux machines locomotives.

Le volume minimum de l'air qui passera dans le foyer serait celui duquel

tout l'oxigène serait enlevé ; mais il ne peut en être ainsi : il y a toujours une grande partie de l'air qui passe sans se consumer, et, en adoptant la même règle que pour les autres foyers, on doit supposer que la moitié seulement de l'air est brûlée, et que chaque kilogramme de coke exige 18 mètres cubes d'air froid pesant 23 kil.

Ainsi, une machine locomotive qui peut brûler 550 kil. de coke par heure a besoin et emploie dans le même temps 12650 kil. d'air ou près de 10000 mètres cubes.

L'air froid arrive sous la grille, la traverse ainsi que la masse de combustible et s'élève à une haute température ; il passe dans les tubes, où il se refroidit sensiblement, et arrive à la cheminée en conservant encore une partie notable de sa chaleur : c'est là que le jet de vapeur du tuyau d'échappement l'entraîne dans son mouvement, et produisant un appel donne un tirage suffisant.

La fumée occupe un volume beaucoup plus considérable et qui dépend de ses diverses températures. En supposant que la température de l'air dans la cheminée et à la sortie des tubes soit de 500° (ce qui ne s'écarte pas beaucoup de la réalité), le volume de l'air serait alors beaucoup augmenté ; le coefficient de dilatation de l'air étant de 0,00375 par chaque degré, et étant supposé rester le même jusqu'à 500°, le volume primitif deviendrait :

$$V \times (1 + 500 \times 0{,}00375) = 2{,}90$$ ou près de trois fois ce qu'il était à 0°.

Il est facile de déterminer pour chaque machine (connaissant la consommation de coke par heure), la quantité d'air froid nécessaire en poids et en volume et d'en calculer le volume à la température de 500°.

Ces nombres sont indiqués dans le tableau 25.

Les vitesses de passage de l'air sont ainsi déterminées très approximativement en tenant compte des obstacles et des contractions ; que nous avons cherché à déterminer pour la grille, les tubes et pour la cheminée.

1° La surface de grille est loin d'être complètement dégagée, les barres qui la composent présentent de nombreux obstacles ; nous avons donc supposé que le 1/4 seulement de la surface totale était libre, et nous en avons déduit la vitesse de passage de l'air froid.

2° La section des tubes de fumée devrait être réduite beaucoup à cause des viroles ; et, d'un autre côté, la température plus élevée des premières parties exigerait probablement l'augmentation du coefficient : celui que nous avons adopté est 0,80. Ainsi la surface des tubes doit être diminuée dans la même proportion pour reproduire les vitesses indiquées.

3° Enfin pour la cheminée nous avons admis un coefficient de 0,90 à cause

des contractions d'abord et ensuite parcequ'elle reçoit également la vapeur dont le volume est assez considérable (1).

Nous avons mis en regard des vitesses calculées dans la cheminée les vitesses moyennes d'écoulement de la vapeur dans le tuyau d'échappement, afin de discuter les rapports qui existent.

(1) En comparant le volume de la fumée produite par 1 k. de coke au volume de 5 k. de vapeur qu'il fournit, et cherchant ce volume à la pression atmosphérique, on trouve que 1 k. de coke correspondant à 18 m. c. d'air froid fournit 52, m. 2 de fumée à 500° et que 5 k. de vapeur à 1 m. c. 70 chaque, donnent un volume de 8 m. c. 5, soit $^1/_6$ du volume de la fumée. Le coefficient ne seroit donc pas assez fort.

TABLEAU 25. — Indiquant pour les machines des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite) la quantité d'air consommé par 1" et la vitesse d'écoulement dans la cheminée et dans les tubes pour une vaporisation de 120 kil. par mètre carré de surface de chauffe réduite et par heure.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	SURFACE DE CHAUFFE RÉDUITE en mètres carrés.	Coke brûlé par heure à raison de 24 k. par mètre carré de chauffe réduite	AIR CONSOMMÉ PAR 1". En mètres cubes: Froid.	AIR CONSOMMÉ PAR 1". En mètres cubes: A la température de 500°.	AIR CONSOMMÉ PAR 1". En poids.	VITESSE D'ÉCOULEMENT de l'air froid dans la grille.	VITESSE D'ÉCOULEMENT de la fumée dans les tubes.	VITESSE D'ÉCOULEMENT de la fumée dans la cheminée.	VITESSE MOYENNE d'écoulement de la vapeur par le tuyau d'échappem.	RAPPORT de la vitesse d'échappem. à la vitesse dans la cheminée.
CHEMIN DE SAINT-GERMAIN.	m. q.	kil.	m. c.	m. c.	kil.	m.	m.	m.	m.	
Denys Papin	10 71	257	1.285	3.727	1.671	8.0	49.2	45.6	275	6.11
Bury	13.07	314	1.570	4.553	2.041	9.5	40.3	55.7	267	4.85
Tayleur	14.88	357	1.785	5.177	2 321	11.5	52.4	67.2	281	4.19
Etna	16.88	405	2.025	5.873	2.633	11.0	52.5	67.8	256	3.82
CHEMIN DE VERSAILLES.										
Jean Bart	14.91	358	1.790	5.191	2.327	11.3	53.8	53.7	301	5.68
Stephenson	16.19	389	1.945	5.641	2.529	.7.1	44.0	69.0	234	3 39
Atlas	17.22	413	2.065	5.989	2.685	10.7	55.4	77.8	240	3.12
Alsace	18.26	438	2.190	6.251	2.847	10.3	47.4	72.2	271	3.76
Gauloise	19.33	464	2 320	6.728	3.016	»	49.5	87.4	342	3.92
Bucéphale	19.78	475	2.375	6.898	3.088	10.9	45.2	71.2	235	3.31
Creusot	20.56	493	2.465	7.149	3.205	9.7	49.0	92.8	272	2.92
Alcide	20.93	502	2.510	7.279	3.263	11.5	49.9	83.9	295	3.51
Vesta	21.27	511	2.555	7.410	3.322	10.0	43.0	91.7	317	3 44
Schneider frères (exposition)	21.63	519	2.595	7.526	3.374	9.0	62.0	104.0	260	2.50
Versailles	22.90	550	2.750	7.975	3.575	11.3	53.0	78.0	251	3.22
Vésuve	23.16	556	2.753	7.984	3.579	10.0	55.8	82.5	294	3.54
Moyenne pour le chemin de Saint-Germain, 4 machines						10.0	48.6	59.1	279	4.69
— Versailles, 12 machines						10.2	50.5	80.3	276	3.52
Moyenne générale						10.1	50 0	75.0	274	3.83

Les vitesses du passage de l'air froid entre les barreaux sont de 10 m. par seconde et ne peuvent produire une grande résistance.

Les vitesses de la fumée dans les tubes sont en moyenne de 49 mètres; elles s'élèvent au plus à 55 m. et montrent la même uniformité pour les diverses espèces de machines. Mais les vitesses moyennes de la fumée dans la cheminée, qui sont de 60 m. environ pour les machines du chemin de fer de Liverpool et du chemin de fer de Saint-Germain, s'élèvent en moyenne jusqu'à 80 m. dans les nouvelles machines du chemin de fer de Versailles ; et ces vitesses sont même de 92 m. et 104 m. pour certaines machines.

Pour faire ressortir toute la puissance nécessaire pour imprimer à l'air de pareilles vitesses, nous donnons ici un tableau des pressions et des vitesses d'écoulement de l'air dans les hauts-fourneaux.

TABLEAU 26.

PRESSION EFFECTIVE DE L'AIR		VITESSE D'ÉCOULEMENT EN MÈTRES PAR SECONDE.	TRAVAIL pour lancer un mètre cube d'air froid PAR SECONDE (en chevaux-vapeur).
EN CENTIMÈTRES de mercure.	EN MÈTRES d'eau.		
c. 1	0.136	45	2.00
2	0.272	63	3.61
3	0.498	77	5.40
4	0.544	88	7.00
5	0.680	98	9.00
6	0.816	107	10.80
7	0.952	115	12.60

Ainsi les vitesses d'écoulement de l'air dans les cheminées des machines locomotives seraient aussi grandes que par la buse des hauts-fourneaux, qui marchent généralement à des pressions de 2 à 5 c. m. de mercure. Cette intensité de vent exige des moteurs quelquefois très puissans; et cependant les buses par lesquelles le vent est lancé sont petites, elles ont 0 m., 08 de diamètre au plus : on comprend alors quelle fraction de la puissance il faudra pour maintenir la même vitesse d'écoulement avec des sections comme celles des cheminées des machines locomotives.

Il y a donc un travail très-grand à produire, et qui rend parfaitement compte de la pression que l'on est obligé de maintenir dans le tuyau d'échappement.

Si on analyse les progressions que suivent les vitesses et les pressions, on remarque que ces dernières augmentent beaucoup plus rapidement; il en résulte que pour obtenir une vitesse de 88 m. il faut un travail double de celui qu'exige une vitesse de 63 m.

Il semblerait donc que le rétrécissement des cheminées dans une certaine proportion est un défaut grave, et absorbe inutilement le travail de la machine en gênant l'écoulement de la fumée et en diminuant la consommation du coke.

Le travail théorique nécessaire pour imprimer assez de vitesse à l'air est très-considérable, il se compte par 10 et 20 chevaux de force ; le calcul du travail qu'exige l'air en mouvement se fait de la même manière que pour la vapeur, en prenant la moitié de sa force vive : c'est celui qui figure dans le tableau 27.

TABLEAU 27.

Indiquant pour diverses machines des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite) le travail nécessaire pour imprimer à la fumée dans la cheminée la vitesse suffisante, comparé au travail minimum de la vapeur en s'écoulant du tuyau d'échappement.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	CONSOMMATION de COKE par HEURE.	MOUVEMENT DE LA FUMÉE dans la cheminée.			ÉCHAPPEMᵗ de la VAPEUR dans la cheminée			rapport du travail de la vapeur à celui nécessaire pour mettre en mouvement la fumée.	travail employé au minimum ou force en chevaux par 100 k de coke brûlé.
		POIDS de l'air brûlé par 1''.	VITESSE moyenne de marche de la fumée.	travail correspondant en kilogr. par 1''.	POIDS de la vapeur par 1''.	vitesse moyenne d'écoulement.	travail correspondant en kilogrammètres par 1''.		
CHEMIN DE SAINT-GERMAIN.									
	k.	k.	m.	kil.	kil.	m.	kil.		
Denys Papin.	257	1.671	45 6	176	0.359	275	1364	7.75	0.9
Bury	314	2.041	55.7	320	0.435	267	1542	4.81	1.4
Tayleur.	357	2.321	67.2	621	0.496	281	1937	3.12	2.3
Etna	405	2.633	67.8	409	0.563	256	1819	4.45	1.3
CHEMIN DE VERSAILLES.									
Jean Bart.	358	2.327	53.7	339	0.496	301	2193	6.47	1.3
Stephenson.	389	2.529	69.0	612	0.540	234	1422	2.32	2.1
Atlas.	413	2.685	77.8	817	0.574	240	1581	1.94	2.6
Alsace.	438	2.847	72.2	738	0.609	271	2176	2.94	2.2
Gauloise	464	3.016	87.4	1441	0.644	342	3724	2.58	4.2
Bucéphale	475	3.088	71.2	780	0.659	235	1730	2.22	2.2
Creusot.	493	3.205	92.2	1386	0.685	272	2449	1.76	3.7
Alcide.	502	3.263	83.9	1151	0.696	295	3003	2.61	3.1
Vesta.	511	3.322	91.7	1375	0.709	317	3475	2.52	3.6
Schneider f. (exp).	519	3.374	104.0	1825	0.721	260	2417	1.32	4.7
Versailles	550	3.575	78.0	1087	0.763	251	2074	1.91	2.6
Vésuve	556	3.579	82.5	1233	0.772	294	3254	2.63	2.9
Moyennes de Saint-Germain					0.463	270	1665	5.30	1.47
Moyennes de Versailles					0.656	276	2458	2.60	2.94
Moyennes générales					0.607	274	2260	3.21	2.56

Le rapport du travail que conserve la vapeur à celui qui est nécessaire pour mettre en mouvement la fumée, serait de 3.20, en moyenne, mais en réalité il est beaucoup plus considérable, puisque le travail indiqué ici pour la vapeur est un minimum comme nous l'avons démontré dans le chapitre précédent et quelquefois il s'élève jusqu'au double.

La différence entre le travail fait et le travail dépensé serait donc beaucoup plus grande que le tableau précédent ne l'indique.

Il est néanmoins probable que le jet de vapeur appliqué comme moyen de puissance donne des résultats avantageux.

Il est une raison qui du reste fait bien ressortir toute la puissance de tirage qui existe dans les machines locomotives, c'est la consommation de combustible sur la grille.

Dans les chaudières ordinaires on brûle par décimètre quarré et par heure de o k. 5 à 1 k. de houille ou de coke, et en moyenne o, k. 60. Dans les machines locomotives la consommation moyenne est de 5 k., c'est-à-dire huit fois plus considérable. Et cependant dans les premières le tirage produit par les hautes cheminées représente un travail réel.

Combien alors ne faut-il pas de puissance dans les machines locomotives pour faire passer dans la même masse de combustible 7 et 8 fois autant d'air! Nul doute que ce travail ne soit encore plus considérable que celui que nous avons calculé pour mettre en mouvement l'air dans la cheminée, car, dans les machines que nous avons citées, celles qui ont de petites cheminées consomment une quantité de coke sensiblement la même par élément de surface de chauffe que les machines ayant de plus grandes cheminées. En serait-il ainsi si la cheminée était le principal obstacle ! Ce fait est d'autant plus saillant que quelques cheminées très-petites n'ont pas de tuyau d'échappement aussi rétréci qu'il devrait l'être en proportion, et cependant ces machines produisent de la vapeur.

Il est donc important de donner aux machines locomotives des surfaces de grille assez grandes si l'on veut brûler une quantité de coke convenable et produire suffisamment de vapeur. La proportion de 5 k. de coke par décimètre carré ne doit pas être dépassée.

Nous avons ainsi une raison de cette anomalie qui nous apparaissait dabord de la petitesse comparative des cheminées des dernières machines locomotives. La cheminée en effet n'est pas seulement un appareil conducteur, et comme tel devant présenter la plus grande dimension possible; elle fait partie des moyens mécaniques de tirage, et doit se coordonner avec le tuyau d'échappement.

La vapeur qui s'écoule de celui-ci avec une très-grande vitesse entraine l'air dans son mouvement. Il est probable que la vapeur ne remplit pas toute la surface de la cheminée, qu'elle s'élève suivant un cône renversé plus ou

moins allongé, et que les molécules de l'air sont influencées par le frottement et l'adhérence.

Une cheminée trop grande peut avoir pour effet de permettre à l'air de s'écarter pour donner passage à la vapeur, et de perdre ainsi une grande partie de sa puissance. Il faut donc être circonspect dans l'augmentation de diamètre et ne pas dépasser une certaine limite.

Les inconvéniens des petites cheminées ne paraissent pas aussi considérables que le calcul l'indique, puisqu'elles n'empêchent pas les locomotives de brûler des quantités sensiblement les mêmes de combustible.

CONCLUSION.

En passant en revue les diverses questions que nous avons examinées dans cette note, nous ferons ressortir toute l'importance qu'offrent deux d'entr'elles : celle de l'avance du tiroir et celle de la pression dans le tuyau d'échappement.

La première, que nous avons cherché à étudier avec autant de soin que possible, nous a amenés, nous le pensons, à des résultats bien nets et bien certains. L'avance du tiroir est une nécessité dans les machines locomotives; quels que soient leur but, leur vitesse, leur tension de vapeur, elle procure toujours une grande économie

L'avance qu'il nous semble convenable d'appliquer est représentée par un angle de 25° ; elle doit être accompagnée d'un recouvrement extérieur correspondant aux 2/3 de la quantité linéaire que représente l'avance, afin d'empêcher la contre-vapeur au commencement de la course, d'intercepter plus tôt l'admission de la vapeur et d'augmenter par conséquent la détente.

L'économie que l'on retirerait d'une telle avance est au moins de 25 pour 100 sur la marche sans avance ; elle provient de la résistance de la vapeur qui se détend par les lumières de sortie que l'on économise, que l'on utilise même, et ensuite de l'emploi de la détente due au recouvrement.

L'avance du tiroir donne de l'économie et par suite de la vitesse pour la même production de vapeur.

Les calculs que nous avons faits sur la pression qui existe dans les tuyaux d'échappement ont déjà été confirmés par quelques expériences qui indiquent qu'ils sont des minimum.

La conséquence que l'on peut en tirer c'est qu'il y a dans le tuyau d'échappement une résistance fort considérable dont on n'avait pas tenu compte jusqu'à présent, et qui devra figurer dorénavant dans le calcul des machines.

Le travail considérable que conserve encore la vapeur en s'échappant est employé au tirage. En analysant toutes les résistances de la fumée pour passer

dans les tubes et dans la cheminée, en tenant compte de ce qui est nécessaire pour activer la combustion du foyer et faire brûler huit fois plus de coke pour la même surface de grille que dans les chaudières ordinaires, on se convaincra de la nécessité d'appliquer au tirage une force considérable, et on arrivera à reconnaître l'obligation où l'on est de laisser une pression notable dans le tuyau d'échappement.

Évidemment, cependant, cette partie des machines locomotives doit recevoir des perfectionnemens, car, dans certaines circonstances, la pression qu'elle maintient sur le piston est tellement forte, qu'elle absorbe près de la moitié du travail développé.

On arrivera à mettre l'orifice du tuyau d'échappement à la portée du mécanicien, qui pourra augmenter ou diminuer à volonté sa section suivant que l'on aura besoin de plus ou de moins de tirage.

Les dimensions des cheminées nous ont aussi occupés; ce que nous en disons provoquera de la part des personnes qui emploient des machines locomotives des investigations nombreuses, nous n'en doutons pas. Il s'agit de déterminer la limite de l'augmentation de la cheminée pour que le jet de vapeur soit le mieux utilisé. Les expériences sur l'augmentation du diamètre de la cheminée doivent être faites progressivement et avec précaution.

Nous n'insistons pas ici sur les dimensions des lumières et des conduits de vapeur; en adoptant les moyennes que nous avons indiquées précédemment, il n'y a que des résistances insignifiantes provenant du passage de la vapeur.

Nous appelons enfin les critiques et surtout les expériences des praticiens sur :

1° L'avance du tiroir telle que nous l'exposons;

2° Sur le tuyau d'échappement quant à la pression moyenne qu'il maintient contre le piston, et quant à la manière dont la vapeur agit sur la fumée dans la cheminée.



NOTE SEPTIÈME.

RECHERCHES SUR L'EFFORT UTILISABLE DES MACHINES LOCOMOTIVES.

(Extrait du rapport du comité sur les chemins de fer irlandais).

Le comité chargé par le parlement anglais d'examiner les moyens d'établir en Irlande un réseau de chemins de fer a fait des recherches assez étendues sur le travail des machines locomotives, afin d'en déduire l'influence qu'elles devaient exercer sur le système de construction des chemins de fer et les conditions ordinaires de leur exploitation.

Nous résumerons ici les résultats généraux consignés dans le rapport de ce comité.

Les résistances ou les forces retardatrices que les machines locomotives éprouvent dans leur travail dépendent en quelque sorte de la perfection de leur exécution. Mais en général leur moyenne s'exprime par les données suivantes.

1° Les frottemens du mécanisme, indépendamment du poids remorqué, sont équivalens à 6 livres anglaises ou 2 kil. 70 par tonne du poids de la machine appliqués à la circonférence de la roue.

2° Les frottemens de la locomotive elle-même, indépendamment de ceux du mécanisme, sont de 8 livres anglaises ou 3 kil. 60 par tonne, appliqués à la circonférence de la roue.

3° Les frottemens du tender, y compris l'accroissement de frottement que la remorque de son poids fait subir au mécanisme de la machine, sont de 9 livres anglaises ou 4 kil. 05 par tonne de son poids.

5° La pression atmosphérique sur le piston est de 14 lbs 7 par pouce carré ou 11, 5 livres anglaises par pouce circulaire ou 1 kil. 033 par centimètre carré. Mais cette résistance doit être réduite suivant le rapport des vitesses relatives des roues et des pistons.

Les différentes machines adoptées dans les six années révolues d'expériences sur les chemins de fer se rangent dans les quatre catégories suivantes.

MESURES ANGLAISES.

Classes.	Diamètre des cylindres.	Course des pistons.	Diamètre des roues.		Poids de la machine.	Poids du tender.
	Pouces.	Pouces.	Pieds. —	Pouces.	Tonnes.	Tonnes.
1	14	16	4	6	12	6
2	12	16	5	«	12	6
3	11	18	5	«	8 ½	5 ½
4	11	16	5	«	8 ½	5 ½

MESURES FRANÇAISES.

	m.	m.	m.		
1	0.356	0.406	1.372	12	6
2	0.305	0.406	1.524	12	6
3	0.279	0.457	1.524	8 ½	5 ½
4	0.279	0.406	1.524	8 ½	5 ½

Dans toutes ces machines la pression indiquée par la soupape de sûreté est de 50 livres par pouce carré ou 3 kil. 49 par centimètre carré, et par conséquent la tension de la vapeur dans la chaudière est de 50 livres ajoutées à 14 liv. 7 ou 64 livres 7 par pouce carré équivalant à 4 kil. 51 par centimètre carré.

D'après ces chiffres, la somme des résistances propres aux machines est facile à calculer.

Pour la première classe, par exemple :

	liv.		t.	liv.	k.
Frottemens du mécanisme de la locomotive.	6	×	12 =	72	32.62
id. de la locomotive............	8	×	12 =	96	43.49
id. du tender..................	9	×	6 =	54	24.46
				222	100.57
L'aire des deux pistons étant 307,8 pouces carrés à 14, 7 liv. par pouce carré, réduits en proportion inverse de la double course des pistons à la circonférence des roues motrices, cela donne pour la résistance atmosphérique..				853	386.40
Résistance................				1075	486.07

Par un calcul analogue et en établissant la puissance totale des différentes

machines par le produit de l'aire de leurs pistons multipliée par la pression réduite à la circonférence des roues, on trouve les résultats suivans :

	1re classe		2e classe.		3e classe.		4e classe.	
	lbs.	k.	lbs.	k.	lbs.	k.	lbs.	k.
Puissance totale	3755 ou	1701	2488 ou	1127	2337 ou	1059	2090 ou	947
Résistance propre à la machine.	1075	487	786	356	702	318	640	290

Ces résistances sont donc d'environ un tiers de la puissance totale de la machine.

Cette perte de force a lieu, que la puissance totale de la machine soit employée ou non; de là l'avantage des fortes charges qui font faire aux machines tout le travail dont elles sont susceptibles.

La charge maximum que les machines sont capables de remorquer se déduit des données qui précèdent :

La force moyenne nécessaire pour vaincre le frottement des voitures et wagons les mieux construits est sur niveau de 8 liv. ou 3 kil. 60 par tonne de poids brut, et une livre ou 0 kil. 45 en outre par tonne du dit poids pour les frottemens du mécanisme de la machine résultant de la charge; en tout 9 liv. ou 4 kil. 05 par tonne, on a donc :

	1e Classe.	2e Classe.	3e Classe.	4e Classe
	lbs. k.	lbs. k.	lbs. k.	lbs. k.
Puissance totale............	3755 ou 1701	2488 ou 1127	2337 ou 1059	2090 ou 947
Résistances.............	1075 ou 487	786 ou 356	702 ou 318	640 ou 290
Puissance utilisable..........	2680 ou 1214	1702 ou 771	1635 ou 741	145 ou 657
On pourra donc remorquer.......	297 tonnes.	189 tonnes.	182 tonnes.	160 tonnes.

Il y a cependant une autre limite à la puissance des machines locomotives, savoir :

L'adhérence entre les roues motrices et les rails, qui est les 10/67 du poids dont les roues sont chargées. Ce poids étant au maximum de 6 tonnes, l'adhérence maximum est de 2000 livres anglaises ou 900 kil.; et le plus fort poids qui puisse être remorqué, 222 tonnes. De pareilles charges ne sont cependant essayées que comme expérience.

Pour faire ressortir l'importance qu'il y a à faire remorquer aux machines un poids aussi considérable que le permettent les dimensions des machines

et les pentes des chemins de fer on a établi les tableaux suivans, dans lesquels est indiqué le montant de la pression de vapeur nécessaire pour différentes charges depuis 10 jusqu'à 290 tonnes; on les a obtenus en ajoutant à la somme des résistances propres à la machine 9 livres par tonne de poids remorqué. Il en ressort que pour les premières classes

					lbs.		k.
Une charge de 10 tonnes exige	1075	+	90	=	1165	ou	428
Une charge de 100 id.	1075	+	900	=	1975	ou	845

Ainsi un poids dix fois plus considérable est tiré par une puissance moindre que le double.

En prenant 100 tonnes comme le poids ordinaire des convois, non compris la machine et son tender, la puissance proportionnelle par tonne est donnée dans la quatrième colonne; elle est calculée comme suit.

La puissance exigée pour 100 tonnes étant 1975 liv. ou 19 liv. 75 par tonne, et pour 10 tonnes 1,165 ou 11 liv. 65 par tonne; prenant pour unité la charge de 100 tonnes, on a

19.75 : 11.65 : : 1.00 : 5 98

C'est-à-dire que la quantité de puissance nécessaire pour remorquer 10 tonnes est près de six fois plus considérable par unité que pour remorquer cent tonnes.

La troisième colonne indique les vitesses relatives que l'on peut atteindre avec différens fardeaux. La pression requise sur le piston étant connue, et la puissance de vaporisation étant supposée constante, les vitesses seront en raison inverse de ces pressions : c'est-à-dire que la vitesse avec laquelle la vapeur peut être produite pour une puissance représentée par 1975 est à la vitesse avec une pression représentée par 1165 dans le rapport inverse de 1165 à 1975.

Ainsi la première vitesse pour 100 tonnes étant 1, la vitesse pour 10 tonnes sera 1, 70.

Il n'en est pas seulement ainsi de la consommation du combustible mais de toutes les autres dépenses qu'entraînent les machines locomotives, telles que les salaires, l'usure et les frais d'entretien, en sorte que la quatrième colonne des deux tables suivantes indique non seulement le rapport des puissances de vapeur, mais encore celui des salaires et des dépenses d'entretien pour les différentes charges et aux vitesses indiquées.

TÀBLES indiquant la pression de vapeur nécessaire dans les cylindres pour différentes charges, la vitesse relative à ces charges et les dépenses relatives par tonne et par distances égales.

PREMIÈRE TABLE. — PREMIÈRE CLASSE DE MACHINES.

POIDS REMORQUÉ.	PRESSION DE LA VAPEUR.	VITESSE RELATIVE.	RAPPORT des puissances de vapeur dépensées par tonne et par distances égales [1].
tonnes.	k.		
0	486.97	1.84	»
10	527.44	1.70	5.98
20	578.51	1.57	3.17
30	609.28	1.47	2.27
40	650 05	1.37	1.82
50	690.82	1.29	1.54
60	731.59	1.22	1.36
70	772.36	1.18	1.23
80	813.13	1.10	1.13
90	853.80	1.05	1.05
100	894.67	1.00	1.00
110	935.44	0.95	0.95
120	976.21	0.91	0.91
130	1016.98	0.88	0.87
140	1057.75	0.84	0.84
150	1098 52	0.81	0.82
160	1139.29	0.78	0.80
170	1180.06	0.75	0.77
180	1210.83	0.73	0.75
190	1261.60	0.71	0.74
200	1302.37	0.69	0.72
210	1343.14	0.66	0.71
220	1323.91	0.64	0.70
230	1424.68	0.62	0.69
240	1465.45	0.61	0.68
250	1506.22	0.59	0.67

[1] Ce rapport s'applique non seulement à la consommation de combustible, mais encore à l'usure, aux frais d'entretien, et aux salaires.

SECONDE TABLE. — QUATRIÈME CLASSE DE MACHINES.

0	289.92	1.84	»
10	330.69	1.61	3.73
20	371.46	1.44	2.08
30	412.23	1.29	1.55
40	453.00	1.18	1.27
50	493.77	1.08	1.11
60	534.54	1.00	1.00
70	575.31	0.93	0.93
80	616.08	0.87	0.86
90	656.85	0.81	0.83
100	697.62	0.76	0.79
110	738.39	0.72	0.76
120	779.16	0.68	0.74
130	819.93	0.65	0.71
140	860.70	0.62	0.69
150	901.47	0.59	0.68
160	942.24	0.56	0.67
170	983.01	0.54	0.65
180	1023.78	0.52	0.64

DES RAMPES ET PENTES.

(Extrait du rapport du comité sur les chemins de fer irlandais.)

Si la puissance développée par une machine locomotive était entièrement appliquée à la traction du poids remorqué, cette traction étant une fraction déterminée du poids, en gravissant une pente dont l'inclinaison serait exprimée par une fraction ayant pour numérateur la hauteur du plan et pour dénominateur sa longueur, la puissance nécessaire pour gravir la rampe serait à la puissance nécessaire pour franchir un plan horizontal, comme la somme des deux fractions (celle qui exprime l'angle du plan et celle qui représente le frottement) à celle qui exprime le frottement seulement.

Ainsi les frottemens et résistances de surface étant de 8 livres ou $3^k,60$ par tonne, ou $1/280^e$ du poids brut ; en montant une rampe de $1/280^e$, la force exigée serait double de celle qu'il faudrait sur un plan horizontal. Mais cela n'est vrai que pour la force de traction immédiatement transmise, mais non par rapport à la puissance dépensée par la machine.

La puissance exigée dans les deux cas se compose : 1° de l'effort qui est destiné à vaincre les quatre causes de résistance indiquées dans la note précédente (page 321) ; cette fraction est égale, sur les plans horizontaux ou inclinés : 2° d'un effort équivalent à 9 livres ($4^k, 05$) par tonne du *poids* remorqué sur les plans horizontaux; 3° de l'effort additionnel nécessaire

pour faire gravir le plan incliné, en ajoutant à la somme du poids remorqué celui de la machine et du tender; 4° enfin, d'un huitième de cette force résultant de l'accroissement de frottement du mécanisme de la machine. La vitesse variera alors dans le rapport inverse de l'accroissement de la charge.

Supposons, par exemple, qu'un convoi de 88 tonnes (tender compris) ait à gravir une rampe de 1/140e, la machine étant de la classe n° 1.

1° Les quatre causes de résistance propres à la machine seront	1075 lbs.	487k.
2° 88 tonnes à 9 livres (4,05)	792	359
Total pour un plan horizontal	1867 lbs.	846
Force additionnelle pour monter la rampe		
3° 88 tonnes + 12 tonnes de la machine = 100 tonnes ou 224,000 livres dont le 1/140 est 1600 liv. anglaises.	1600	725
4° Frottement additionnel de 1 livre pour 8 livres de traction, 1600 divisé par 8 =	200	91
Total de la puissance nécessaire	3,667	1662

Les vitesses se trouvant en raison inverse des pressions ou de la force de traction, on aura, en supposant que 32000m soit la vitesse sur les plans horizontaux avec 88 tonnes de charge, 3667 : 1867 ou 1662 : 842 :: 32000m : 16000 mètres qui expriment la vitesse d'ascension sur la rampe.

NOTE HUITIÈME.

OBSERVATIONS : 1° SUR QUELQUES PROGRÈS DANS LA CONSTRUCTION DES NOUVELLES MACHINES ANGLAISES, 2° SUR LA CHARGE DU COMBUSTIBLE DANS LE FOYER, 3° SUR L'ÉPREUVE DES MACHINES A LA PRESSE HYDRAULIQUE, 4° SUR L'ESSAI DES MACHINES NEUVES, 5° SUR LA CONDUITE DES TRAINS A LA DESCENTE DES FORTES PENTES.

§ I.

Depuis la rédaction des quatre premières parties de cet ouvrage, la compagnie du chemin de fer de Versailles (rive droite) a reçu, des constructeurs anglais Sharp, Roberts et Rothwel, douze machines locomotives.

Les progrès que constate la construction de ces machines sont tels que nous croyons utile d'énumérer ici les plus saillans.

L'ensemble du système de construction dépasse en solidité tout ce qui a été fait jusqu'à présent; les constructeurs, sans se préoccuper des différences de dilatation qui ont lieu entre la chaudière, les traverses qui supportent le mécanisme, et le châssis extérieur, ont relié le tout ensemble avec une rigidité excessive. Dans les machines de Sharp et Roberts, les traverses intérieures ont une grande hauteur et une faible épaisseur et sont reliées à-la-fois à la boite des cylindres, au corps cylindrique de la chaudière et à la boite à feu. Le châssis extérieur est relié par des plaques horizontales à cornières et par des pièces verticales très-épaisses à la boîte à cylindre et à la boîte à feu; les pièces verticales qui rattachent la partie cylindrique de la chaudière au châssis extérieur ne sont qu'ajustées, pour maintenir l'écartement du châssis.

L'attache du tender à la machine prend sur la face entière et sur les côtés de la boîte à feu et se relie au châssis; les guides à glissoirs des tiges de piston sont maintenues sur les traverses intérieures qui supportent le mécanisme par de fortes cornières au lieu de boulons employés dans les autres machines. Le seul défaut que l'on puisse reprocher aux traverses c'est qu'elles ne portent pas de moyen de réglement des coussinets qui maintiennent l'essieu coudé entre les deux châssis extérieurs. Les essieux et les bielles ont une très grande force, et par conséquent une grande pesanteur; cela était un inconvénient, car il en résultait que le poids des bielles et des coudes des manivelles avait pour effet d'imprimer une marche accélérée à la machine à chaque révolution des roues dans le moment où les deux coudes et les

deux bielles descendent à-la-fois: cela produisait des inégalités très-vives dans la marche; des contre-poids placés aux roues ont fait complètement cesser cet inconvénient. Les cercles des roues ou fers à rebord ont plus de largeur, de telle sorte qu'ils résistent davantage au travail et sont moins susceptibles de l'allongement qui, dans d'autres machines, tend à les détacher des jantes.

Les leviers coudés et les arbres de la distribution sont forgés d'une seule pièce, les barres d'excentrique et tiges des tiroirs ont une force qui prévient toute espèce d'élasticité dans le travail. Les articulations de la distribution présentent beaucoup de surface, et sont par conséquent peu susceptibles d'usure; les plaques de la boîte à feu sont d'une grande épaisseur, les tubes sont d'un faible diamètre, et l'ajustement des viroles a une telle solidité que, pour la première fois, il est arrivé que des fuites ne se sont pas encore déclarées après plusieurs mois de travail de ces machines. Cette supériorité dans la chaudronnerie a été égalée par des constructeurs français.

Les machines de Sharp et Roberts ont de plus un avantage qui a une haute importance dans l'entretien des machines, c'est que le fer employé dans leur construction pour les essieux, les bielles, les fers à rebord, etc., a à-la-fois une grande densité et une grande dureté; ce qui donne aux frottemens beaucoup de douceur et conserve autour des tourillons l'huile du graissage, à cause du poli des surfaces mises en frottement.

Nous appuierons beaucoup auprès des constructeurs sur la nécessité de se préoccuper vivement de cette condition; il est important d'employer des fers durs, nerveux et denses, afin que les parties mises en frottement soient susceptibles d'un très bon poli. Il importe que les tourillons soient approchés de forge le plus près possible, afin que le tour ne découvre pas les parties resserrées par le travail du marteau et n'atteigne pas, comme on dit, le creux du fer, c'est-à-dire la partie intérieure d'une pièce forgée, qui, soustraite à l'action du marteau, est moins dense que la superficie.

La forme du châssis des machines de Sharp et Roberts rend leur passage dans les croisemens plus dangereux à cause de la rigidité des plaques de garde.

§ II.

Depuis que l'emploi des machines à grands foyers est devenu plus général, le système de charge du combustible dans le foyer s'est modifié; le coke est disposé sur la grille suivant une inclinaison qui part de deux à trois pouces au-dessous de la première rangée des tubes, et monte à cinq ou six pouces au-dessus du bas de la porte du foyer.

Ce système a l'avantage de ne pas encombrer de coke l'orifice des tubes de

flamme, de ne pas couvrir complètement de combustible froid la partie incandescente dans le foyer, et d'amener progressivement les parties les plus élevées sur la pente qu'affecte le combustible, à mesure que le niveau des parties basses s'abaisse par l'effet de la combustion qui est toujours plus active du côté des tubes de flamme.

§ III.

L'essai à la presse hydraulique des machines locomotives, suivant les épreuves légales ordonnées par l'administration des ponts et chaussées, a eu des effets tellement funestes sur les parties planes de ces machines, que les constructeurs et les compagnies ont dû se refuser à ces essais et l'administration y a renoncé, au moins provisoirement.

Elle s'est bornée, depuis, à l'épreuve d'une fois et demie la pression ordinaire; elle a cependant annoncé l'intention de revenir au système employé pour les chaudières des machines fixes. Il est à regretter que les raisons si nombreuses et si évidentes qui démontrent les inconvéniens et l'inutilité de pareilles épreuves échouent devant les craintes des hommes qui ont à prononcer sur ces matières et l'absence de toute responsabilité de leur part pour les dommages qu'ils peuvent causer aux machines par des essais mal entendus.

§ IV.

Nous avons omis de parler, dans la troisième partie, des précautions à prendre pour l'essai des machines neuves; nous réparons ici cet oubli. La première et la plus importante de ces précautions, c'est le graissage : un essieu qui a grippé une fois perd pour toujours son poli, il devient susceptible de s'échauffer très facilement; il faut alors l'enlever de dessous la machine pour nettoyer avec le plus grand soin le tourillon qui a grippé et la boîte à graisse.

Un autre soin à prendre, c'est la purge de la chaudière: les chaudières neuves sont toujours sales; et l'ébullition laiteuse qui provient de ces saletés a pour effet de lancer l'eau avec la vapeur, soit par les tiroirs, soit même par les soupapes. On purge les chaudières de deux manières, soit en ouvrant les robinets inférieurs de la chaudière, soit, si l'on a abondance d'eau et de feu, en ouvrant complètement le régulateur ainsi que les robinets de purge des cylindres, et en laissant sortir ainsi à-la-fois de grandes quantités d'eau et de vapeur. Ce travail peut durer plusieurs heures avant l'essai.

L'opération du nettoiement des eaux sales dans les chaudières qui ont travaillé plusieurs jours peut se faire dans le courant du travail d'une machine quand elle est munie de robinets de vidange à la partie inférieure de la boîte à feu; il faut alors profiter du moment où l'on conduit des trains très-légers, ou bien où l'on a à descendre de longues pentes, pour bien remplir la chau-

dière, et ouvrir ensuite les robinets en fermant ou en diminuant l'ouverture du régulateur de vapeur.

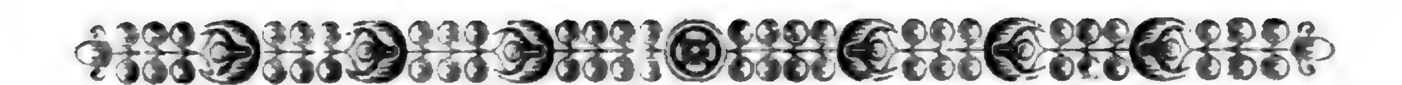
Si l'eau sale forme seulement une tranche à la superficie de l'eau, ce qui est facile à reconnaître au tube indicateur du niveau, il faut ouvrir complètement le régulateur, ce qui crée une ébullition très violente dans la chaudière et chasse alors l'eau sale avec la vapeur par les cylindres dont on ouvre les robinets de purge.

§ V.

L'ouverture du chemin de fer de Versailles (rive droite) ayant eu lieu avant l'achèvement de l'impression de ce travail, nous consignerons ici une observation, dont l'expérience démontre l'utilité, sur la conduite des machines et des trains à la descente des pentes de grande longueur.

La pente de 5 m. m. qui existe sur le chemin de fer de Versailles à Paris (rive droite), depuis Versailles jusqu'au pont d'Asnières, compense au delà les frottemens dus aux wagons, qui sont environ de $^1/_{280}$; tandis que la pente est de $^1/_{200}$: il resterait donc à peu près 1 m. m. de pente pour la vitesse d'accélération, mais les frottemens de la machine et la résistance de l'air suffisent pour neutraliser les effets que cet excès de la pente sur les frottemens pourrait avoir sur la vitesse d'accélération, de telle sorte que pour maintenir les convois à une vitesse de 10 lieues à l'heure il faut employer la vapeur. Ce sont les règles à suivre pour cet emploi de la vapeur dans les pentes analogues à celle-ci que nous voulons indiquer.

Quelques mécaniciens croient convenable d'opérer la descente des convois à des vitesses variables; à cet effet ils donnent de la vapeur de temps en temps et lancent leurs convois à de grandes vitesses, principalement dans les alignemens: c'est un mauvais système. D'abord, à chaque reprise de vapeur, le train éprouve une secousse de traction désagréable pour les voyageurs, par le motif que les attaches du train ne sont pas tendues, puisque, quand on cesse la vapeur, la machine éprouvant plus de frottement que les wagons, ceux-ci viennent s'appuyer sur elle; et puis ce n'est pas un moyen de ménager les machines et les rails à l'entrée dans les courbes, que de lancer fortement les convois dans les alignemens. Il vaut donc mieux donner constamment de la vapeur, mais peu à-la-fois et de manière à entretenir une vitesse constante; il est facile de régler la vapeur de manière à conserver une vitesse raisonnable sans obtenir d'accélération : à l'entrée dans les courbes, on peut, pendant un instant très court, fermer l'introduction de vapeur; mais cela est à peu près inutile quand les rails sont montés sur traverses en bois sur lesquelles des coussinets solides empêchent leur écartement, et que les fers à rebord formant le cercle extérieur des roues sont de bonne qualité.



CHEMIN DE FER

DE

PARIS A S^{T}-GERMAIN ET A VERSAILLES (R. D.).

RÉGLEMENT

RELATIF AUX MÉCANICIENS, AUX CONDUCTEURS DE MACHINES LOCOMOTIVES ET AUX CHAUFFEURS.

§ Ier.

Conditions générales d'engagement et de salaire.

ARTICLE PREMIER.

Tout mécanicien et tout élève-mécanicien, avant de commencer son service auprès de la Compagnie, passe avec elle un engagement dont la durée est fixée dans ledit engagement, ainsi que le temps du noviciat s'il y a lieu.

L'élève fait fonction de chauffeur pendant tout le temps de son noviciat; comme tel, il participe aux avantages accordés et est soumis à toutes les obligations imposées par le présent réglement.

ART. 2.

Les mécaniciens et chauffeurs sont soumis à tous les réglemens de la Compagnie soit pour le service de la voie, soit pour le travail à l'atelier. Ils sont également soumis aux réglemens généraux de la Compagnie relatifs à la hiérarchie et à la discipline du personnel et du service en général, et aussi aux réglemens à intervenir pour le service des marchandises quand il sera installé.

Les mécaniciens et chauffeurs doivent avoir un livret délivré par la préfecture de police, et sur lequel leur engagement sera mentionné par le directeur de la Compagnie.

ART. 3.

La journée de travail à l'atelier est de onze heures effectives de travail,

lesquelles commencent, finissent, et sont divisées pour les repas, conformément au réglement général de l'atelier.

La journée de travail sur la voie se règle en général sur le temps de la circulation des voyageurs, telle qu'elle résulte de l'organisation du service du lundi au samedi. Le *maximum* de la journée est au surplus fixé par le service habituel d'été, fixant le premier départ à sept heures du matin et le dernier départ à dix heures vingt minutes du soir.

Sont regardées comme heures extraordinaires de travail dans le service sur la voie les heures faites pour tout départ avant sept heures du matin, et celles faites pour tout départ après celui de dix heures vingt minutes du soir.

Ces heures, que les mécaniciens et chauffeurs ne peuvent se refuser à faire quand ils sont commandés, seront payées sur un état dressé par les chefs de gare, auxquels les mécaniciens faisant le service extraordinaire devront faire constater leur présence et les ordres qu'ils auront reçus pour marcher.

L'heure extraordinaire de travail est comptée :

1° Aux chauffeurs .... 0 fr. 50 c.

2° Aux mécaniciens .... 1 »

Art. 4.

Les mécaniciens et chauffeurs ont droit dans le mois à trois jours de repos. Ces jours de repos sont fixés par leurs chefs; et ils ne peuvent les prendre sans autorisation, ou sans s'exposer à une amende double de la valeur de la journée ainsi perdue.

Les heures partielles d'absence sans autorisation, soit de l'atelier, soit du service sur la voie, sont retenues aux chauffeurs et mécaniciens sur le pied des heures extraordinaires de travail, sans préjudice des amendes fixées plus loin.

Art. 5.

Il est fait une retenue sur le traitement des mécaniciens. Cette retenue est de 20 fr. par mois pour le chauffeur, et de 30 fr. par mois pour le mécanicien. Elle est opérée jusqu'à ce qu'elle s'élève à 1,500 fr. et sert de garantie aux engagemens contractés par le chauffeur et le mécanicien, qui peuvent perdre cette retenue intégralement

1° S'ils quittent le service avant le temps fixé dans leur engagement;

2° Si, par inconduite, faute grave, tentative de coalition, ou refus de suivre les ordres de leurs chefs, ils se sont mis dans le cas d'être supprimés.

Le conseil d'administration est le seul juge des causes qui rendront cette mesure nécessaire.

L'intérêt de la retenue est bonifié sur le pied de 5 pour cent par la Compagnie.

Art. 6.

Les gratifications que le chauffeur ou le mécanicien aura pu obtenir sont portées pour moitié à son compte de retenue. Il touche le surplus.

Art. 7.

Les mécaniciens s'engagent expressément à donner tous leurs soins à former leurs chauffeurs dans la connaissance de la tenue et de la conduite de la machine, lorsque ces chauffeurs leur seront désignés comme élèves.

Art. 8.

Tout chauffeur ou mécanicien qui quitterait le service de la Compagnie avant le terme fixé dans son engagement, ou qui se mettrait dans le cas d'être supprimé, ne peut s'engager au service d'aucune compagnie de chemin de fer en France, en Angleterre ou en Belgique.

Art. 9.

Les chauffeurs et mécaniciens restent soumis à l'action de l'autorité pour les cas de coalition, ou pour les accidens résultant de leur imprévoyance ou négligence. Les peines ou amendes qu'ils peuvent subir pour l'une ou l'autre cause ne peuvent se confondre avec celles qui sont stipulées ci-dessous

§ II.

Du travail dans l'atelier.

Art. 12.

Les mécaniciens et chauffeurs de service à l'atelier y sont sous les ordres des chefs désignés par l'administration et doivent leur obéir et exécuter tous les travaux qui leur sont donnés par eux, dans quelque partie des ateliers que ce soit.

Art. 13.

Les chauffeurs et mécaniciens doivent être présens à l'atelier lorsqu'ils ne

sont pas désignés pour le service sur la voie ; un tableau affiché dans l'atelier de montage fixe le service du lendemain et indique aussi les permissions données, et les amendes retenues ou encourues.

ART. 14.

Le mécanicien et le chauffeur doivent nettoyer à fond leur machine quand elle rentre à l'atelier, s'ils en reçoivent l'ordre.

ART. 15.

Tout manque de travail et de discipline dans l'atelier est puni d'amende.

§ III.

Du service dans les gares.

ART. 16.

Les mécaniciens et chauffeurs, quand ils sont dans les gares, sont sous les ordres et la surveillance des chefs de gare, de l'inspecteur des machines, et de l'inspecteur général du service.

ART. 17.

Les mécaniciens et chauffeurs désignés sur le tableau du service de circulation doivent tous répondre à l'appel du matin, les mécaniciens une demi-heure et les chauffeurs une heure avant le premier départ. Si la présence de tous n'est pas jugée nécessaire à ce moment, le tableau de ser-service affiché la veille dans l'atelier le fera connaître.

Dans tout le reste de la journée, le mécanicien doit toujours être présent dans la gare ; sauf les permissions d'absence données par le chef de la gare.

Le mécanicien visite attentivement pendant la demi-heure qui précède le départ toutes les pièces de la machine, et s'assure si elle est en état de faire le voyage. Il vérifie notamment l'état des écrous, clavettes et autres pièces, les assemblages, coussinets et stuffing-boxes, les boîtes à huile et à graisse ; il fait les manœuvres nécessaires pour l'alimentation et la mise en vapeur : il reconnait l'état du frein et des pompes ; il vérifie l'approvisionnement d'huile, de graisse, d'eau et de coke, fait connaître à l'inspecteur des machines les défauts qui pourraient exister dans la machine et en gêner la marche, exécute ponctuellement tous les ordres ou les manœuvres prescrits par l'inspecteur des machines.

L'inspection et la mise en état de la machine doivent être complètement achevées cinq minutes avant le départ.

Si l'inspecteur des machines juge qu'une machine doit rentrer à l'atelier, le mécanicien doit s'y rendre immédiatement, porteur du rapport de l'inspecteur, sans lequel la machine ne peut être admise à l'atelier.

En l'absence de l'inspecteur des machines, l'ordre de rentrer est signé par le chef de gare.

ART. 18.

Toute machine en service doit être pourvue des objets suivans, que le mécanicien reçoit en compte, dont il est responsable, et sans lesquels il ne doit pas marcher :

1° Un assortiment de clefs, boulons, écrous.

2° Une grande et une petite clefs anglaises.

3° Trois ciseaux à froid et un marteau.

4° Une pince en fer.

5° Une chaîne longue et deux courtes avec crochet d'assemblage.

6° Des bouchons de tube, du chanvre, des tresses, de la ficelle et des cordes.

7° Deux burettes à huile.

8° Une pelle à charbon.

9° Un tisonnier, une lance et une tige pour nettoyer les tubes.

ART. 19.

Quand la machine stationne dans la gare, le régulateur doit être fermé, les excentriques déclanchés, et le frein abaissé. Quand la machine est en tête du train, la même précaution doit être prise.

Le mécanicien est responsable de toutes les manœuvres de la machine, même de celles qui sont exécutées par son chauffeur avec sa permission.

Toute machine dans la gare doit autant que possible envoyer la vapeur dans son tender; à moins d'autorisation contraire, la soupape mobile doit, pendant le stationnement, être réglée à 35 de la balance.

ART. 20.

Pendant les heures de stationnement, le mécanicien fait travailler le chauffeur au nettoiement de la machine et travaille lui-même à tenir propre toute la partie du mécanisme qui est sur le plan du grand axe de rotation, entre la boite à feu et les cylindres.

ART. 21.

Le mécanicien et le chauffeur ne peuvent s'absenter de la gare que suc-

cessivement, avec permission du chef de gare ou de l'inspecteur des machines.

La machine ne doit jamais rester seule.

Art. 22.

Un quart-d'heure avant le départ le mécanicien place sa machine en tête du train, à moins d'ordre contraire.

Dans cette manœuvre, comme dans toutes celles qu'il a à faire avec sa machine, il doit, avant de toucher au régulateur :

1° Avoir visité le frein, et s'être assuré qu'il manœuvre bien;

2° Avoir fait siffler la machine à plusieurs reprises;

3° Avoir l'œil sur les aiguilles et faire marcher son chauffeur en avant pour les mettre en ordre, s'il craint que l'aiguilleur ne l'ait pas compris, et n'avancer que lorsqu'il a vu lui-même que l'aiguille est bien placée;

4° Aller doucement :

5° S'approcher des voitures avec la plus grande précaution.

6° Vérifier par lui-même si elles sont bien accrochées à la machine.

Art. 23.

Au signal du départ, le mécanicien doit partir avec la plus grande précaution et tendre doucement toutes les chaînes.

Art. 24.

Le chauffeur, pendant la station des machines dans la gare et sauf les heures de repas pour lesquelles il est astreint aux dispositions de l'article 19, doit s'occuper de tout ce qui est prescrit ci-dessus, et notamment du nettoiement de la machine; ce soin lui est rigoureusement prescrit aux stations comme à l'atelier.

Art. 25.

En général, le chauffeur doit strictement exécuter tout ce qui lui est prescrit par le mécanicien. Il ne doit faire aucune manœuvre sans son ordre ou celui de l'inspecteur des machines.

§ IV.

Du service sur la voie.

Art. 26.

Le personnel d'une machine en service se compose d'un mécanicien et d'un chauffeur.

Les mécaniciens et chauffeurs doivent être debout sur la machine en marche et attentifs à l'état de la voie et du train.

Les administrateurs, le directeur, les ingénieurs, l'inspecteur-général du service, le directeur de l'atelier, un conducteur de voitures désigné pour chaque train, et les personnes pourvues de permissions spéciales du directeur, peuvent seuls monter sur la machine.

ART. 27.

Le mécanicien ne doit, sous aucun prétexte, déranger les points d'arrêt de la balance pour obtenir une plus forte pression. Toute infraction à cette prescription sera sévèrement punie.

ART. 28.

Le mécanicien ne doit jamais dépasser la vitesse de huit à neuf lieues à l'heure.

La vitesse doit être ralentie mille mètres en avant de tous les points où le train doit s'arrêter, et notamment à l'arrivée à Paris, au Pecq, à Saint-Cloud et à Versailles. La manœuvre du frein doit toujours être faite assez tôt et avec assez de force pour que le mécanicien soit obligé de rendre de la vapeur pour arriver. Il doit exécuter cette manœuvre sans secousses.

A l'approche de chaque station, le mécanicien doit ralentir la vitesse et s'approcher en sifflant. Cette précaution est particulièrement prescrite lorsqu'un convoi est arrêté sur l'autre voie, et prend des voyageurs. Le mécanicien doit même s'arrêter tout-à-fait s'il aperçoit de l'embarras sur sa voie.

Toutes les fois que le mécanicien aperçoit sur l'autre voie et en dehor des stations un train arrêté, il doit s'arrêter lui-même et s'informer du motif de l'arrêt pour en rendre compte immédiatement à la gare où il se rend.

Dans les temps de brouillard la vitesse doit aussi être ralentie non-seulement près des stations, mais sur tout le chemin; le mécanicien doit aussi faire fréquemment usage du sifflet, notamment dans les courbes.

Dans le cas où la machine donne une émission assez considérable de vapeur pour dérober au mécanicien la vue de la voie, il doit ralentir sa vitesse et se placer sur le cadre de la machine, assez en avant des soupapes pour voir la voie et ce qui s'y passe en avant de lui.

Lorsqu'il se manifeste sur la voie des tassemens sensibles, le mécanicien doit ralentir sa vitesse aux points où ces effets ont eu lieu, jusqu'à ce qu'ils soient réparés.

ART. 29.

Si, pendant la marche, il arrive à la machine ou au train un accident qui

l'oblige à l'arrêter ou à marcher doucement pendant long-temps, le mécanicien doit envoyer son chauffeur à mille mètres en arrière du train pour s'assurer que les cantonniers donnent le signal d'arrêt.

Tous les réglemens faits par la Compagnie pour les signaux seront portés à la connaissance des mécaniciens, qui devront les étudier avec soin et s'y conformer ponctuellement. En tout cas, le mécanicien ne doit jamais faire reculer le train, à moins d'un ordre verbal ou écrit de l'inspecteur du service ou du chef de la gare d'où est partie la machine de secours.

Si le mécanicien juge nécessaire de détacher la machine du train, soit pour aller chercher du secours, soit pour alimenter, il est responsable de l'une ou l'autre de ces manœuvres, et doit les exécuter avec la prudence et le soin les plus grands, et, en ce cas, il ne doit partir qu'après s'être assuré qu'en arrière du train qu'il quitte momentanément il y a des signaux installés pour prévenir toute rencontre.

ART. 30.

Lorsque le mécanicien part après s'être arrêté à une gare intermédiaire, il doit employer les mêmes précautions que celles qui sont prescrites à l'article 21 pour le départ des gares principales.

ART. 31.

Dans le cours du trajet, le mécanicien doit plusieurs fois examiner l'état du train et s'assurer s'il est complet.

Dans le cas où une chaîne du train viendrait à rompre et où le train se trouverait ainsi partagé en deux : si la queue du train est en vue, le mécanicien ne doit pas arrêter brusquement mais conserver un intervalle d'au moins 200 mètres entre les deux parties du train jusqu'à ce que la partie détachée ait perdu sa vitesse ; alors il s'en rapproche avec précaution, et après avoir visité lui-même la nouvelle attache il part avec les précautions prescrites.

ART. 32.

Toutes les fois que le mécanicien a devant lui une machine ou un train, il doit s'en tenir à une distance de 2,000 mètres, et ralentir sa vitesse, s'il le perd de vue dans les courbes.

ART. 33.

Le mécanicien, à son arrivée aux stations, fait connaitre tout ce qu'il a pu remarquer sur la voie au chef de la gare, et notamment les ruptures de

rails ou affaissemens du sol de la voie; il fait aussi rapport immédiat au chef de la gare si des parties de train sont restées sur la voie.

Il rend compte à l'inspecteur des machines de tout ce qui a pu arriver à sa machine.

Art. 34.

Les mécaniciens et chauffeurs ne doivent pas quitter leurs machines avant qu'elles n'aient été tournées sur les plates-formes, que l'approvisionnement du charbon et l'alimentation de la machine ne soient faits, que le feu ne soit piqué, et avant d'avoir examiné eux-mêmes l'état du foyer et de toute la machine, qu'ils ne doivent quitter, en tout cas, qu'avec permission du chef de gare.

Au dernier voyage, le mécanicien et le chauffeur, à moins d'autorisation spéciale de l'inspecteur des machines, ne doivent quitter la machine qu'après avoir éteint le feu et avoir assuré l'approvisionnement d'eau et de charbon.

Art. 35.

Le mécanicien ne doit pousser un train en arrière ou faire marcher le tender en avant que sur un ordre spécial du chef de la gare, et dans l'un comme dans l'autre cas il doit marcher avec la plus grande prudence.

Art. 36.

Pendant tout le temps de la marche, le chauffeur doit être attentif à tous les ordres du mécanicien et les exécuter ponctuellement et avec rapidité.

Toute infraction commise par le chauffeur aux règles ci-dessus, et à la discipline, doit être déféré par le mécanicien à l'inspecteur des machines, aussitôt après l'arrivée du train; l'inspecteur des machines a le droit, s'il y a lieu, de prononcer la mise à pied du chauffeur pour le reste du jour, et de l'envoyer avec son rapport à l'atelier.

En général, le chauffeur, pendant toute la durée du service, est exclusivement sous les ordres du mécanicien, qui est responsable de sa conduite.

Art. 37.

Le présent réglement sera imprimé ; et les mécaniciens devront toujours l'avoir avec eux, sous peine d'amende.

Le présent réglement recevra toutes les modifications que l'expérience fera juger nécessaires. Ces additions au réglement seront affichées dans l'atelier et remises ensuite à chaque mécanicien et chauffeur, pour qui elles seront obligatoires comme le réglement lui-même, ainsi que le tarif d'amendes

ci-annexé, lequel sera aussi susceptible des additions ou modifications indiquées par l'expérience.

AMENDES.

Art. 38.

Les amendes dont l'indication suit sont applicables dans le cours ordinaire du service.

Elles peuvent être doublées en cas de récidive de la même faute dans le mois.

Elles peuvent être quadruplées s'il est survenu un accident par suite de la faute commise, sans préjudice du recours en indemnité de la Compagnie.

Le conseil d'administration conserve d'ailleurs, en tout cas, son droit de supprimer les mécaniciens ou chauffeurs qui se seraient mis dans le cas prévu à l'article 5; et ce, sous toutes réserves de droits et actions de la Compagnie.

TARIF DES AMENDES.

Pour s'être pris de vin, étant de service sur les machines, ou pour infraction à l'article 36,

Le mécanicien .... 25 fr.
Le chauffeur 10

Pour infraction aux divers articles du paragraphe II.

Le mécanicien .... de 3 fr. » à 12 fr.
Le chauffeur .... de 1 50 c. à 6

Pour infraction aux articles du paragraphe III.

Le mécanicien .... de 3 fr. » à 12 fr.
Le chauffeur .... de 1 50 c. à 6

Pour infraction aux articles du paragraphe IV.

Le mécanicien .... de 5 fr. » à 20 fr.
Le chauffeur .... de 2 50 c. à 10

Toute amende pour faute non prévue dans le présent réglement sera fixée par le conseil d'administration de la Compagnie.

L'administrateur de service,
Ad. D'EICHTHAL.

Le directeur,
Émile PÉREIRE.

VOCABULAIRE ANGLAIS-FRANÇAIS

CONTENANT

LES PRINCIPAUX TERMES TECHNIQUES

EMPLOYÉS

POUR DÉSIGNER LES PIÈCES DES MACHINES LOCOMOTIVES.

A

Accelerating force.	Force accélératrice.
Adhesion.	Adhérence.
Alternate motion.	Mouvement alternatif.
Angle-iron.	Cornière.
Anthracite.	Anthracite.
Aperture.	Ouverture, rainure.
Area.	Surface.
Arm.	Bras, armature.
Arrangement.	Disposition.
Ascent.	Remonte.
Ash pan.	Cendrier.
Assistant.	Aide.
Axis.	Axe.
Axle.	Tourillon.
Axle-tree.	Essieu.

B

Back stroke.	Coup d'arrière.
Backwards.	En arrière.
Balancing.	Balancement.
Ball.	Boulet.
Ballast.	Sable.
Barrel of pump.	Corps de pompe.
Bars.	Barres.
Bent-rod.	Barre ronde pliée.
Blast pipe.	Tuyau d'échappement de vapeur.
Block.	Calle, bloc de bois.
Blow-off cocks.	Robinets d'essai ou de vidange avec pression de vapeur.
Boiler.	Chaudière.
Bolt.	Boulon.
Bolted.	Boulonné.

Bottom.	Fond.
Box.	Boîte.
Brake.	Frein.
Brak's mens.	Hommes qui agissent sur les freins.
Branching pipe.	Tuyau d'embranchement.
Brass.	Bronze.
Breeches piece.	Pièce à culotte, tuyau bifurqué.
Bridge.	Pont.
Bridle.	Bride.
Builder.	Constructeur.

C

Canvass.	Toile.
Carriage.	Coussinet, voiture.
Cast.	Coulé.
Cast-iron	Fonte.
Centre.	Centre.
Centre boss.	Renflement central.
Centre-pin.	Goujon central.
Chain.	Chaîne.
Chair of wheel.	Boîte de roue.
Chamfered.	Taillé en chanfrein.
Chimney.	Cheminée.
Chisel.	Ciseau, burin.
Cinders.	Cendres.
Coal.	Charbon.
Cock.	Robinet.
Cog.	Dent d'une roue.
Cog wheels.	Roues dentées, engrenages.
Collar.	Collier.
Compensation.	Indemnité.
Condensation.	Condensation. Etat d'agrégation de la vapeur ramenée à l'état liquide.
Conical.	Conique.
Connected.	Accouplé.
Connecting-rod.	Bielle.
Connexion.	Réunion.
Copper.	Cuivre.
Cotter and gib.	Clavette et Contre-Clavette.
Cotton.	Coton, mèche de coton.
Cotton-wick.	Mèche de coton.
Cranks.	Coude.
Crank-arm.	Manivelle.
Cranked-axle.	Axe coudé ou à manivelle.
Crook.	Crochet.
Crooked-poker.	Ringard terminé par un crochet.
Cross-axle.	Axe en T à deux leviers opposés.
Cross-heads.	Têtes croisées, têtes de bielle ou de tige.
Crossing.	Croisement.

Cross piece.	Pièce croisée.
Cross-sleeper.	Traverse.
Cubic.	Cube.
Cubic foot.	Pied cube.
Culvert	Ponceau.
Cup.	Godet.
Curve.	Courbe.
Cutting.	Tranchée, déblais.
Cwentum.	Quintal
Cylinder.	Cylindre.
Cylinder cover.	Couvercle d'un cylindre.

D

Damper.	Registre.
Degrees.	Degrés.
Delivery pipe.	Tuyau de sortie.
Descent.	Descente.
Diameter.	Diamètre.
Diameter inside.	Diamètre intérieur.
Diameter outside.	Diamètre extérieur.
Disengage (to).	Désembrayer.
Disk.	Disque.
Door.	Porte.
Double casing.	Double-fonds.
Drain.	Fossé d'écoulement.
Draught.	Tirage.
Driver.	Conducteur, moteur.
Driving wheels.	Roues motrices.
Dung-cart.	Tombereau.
Dynamometer.	Dynamomètre, mesure de force.

E

Eccentric.	Excentrique.
Eccentric rods.	Tirans ou barres d'excentrique.
Edge.	Taillant, côté de champ. angle.
Eduction.	Émission.
Elastic force.	Force élastique, tension.
Elasticity.	Elasticité.
Embankment.	Remblai.
Endless chain.	Chaîne sans fin.
Engage (to).	Embrayer.
Engine, Machine.	Machine.
Engineer.	Ingénieur.
Engine-man.	Mécanien, Conducteur de Machine.
Equal.	Égal.
Escape.	Echappement, Perte.
Evaporation power.	Puissance d'évaporation.

Experiment.	Expérience.
Extinguish (to).	Éteindre.
Eye.	OEil, Encoche.

F

Fastened.	Callé, attaché.
Feed Pumps.	Pompes alimentaires.
Fence.	Balustrade, treillage.
Ferrule.	Virole.
Fire.	Feu.
Fire-bars.	Barres du foyer.
Fire-box.	Boîte à feu.
Fire-door.	Porte du foyer.
Fire-grate.	Grille du foyer.
Fire-man.	Chauffeur.
Flame.	Flamme.
Flange.	Rebord.
Flange of the tires.	Rebord des bndages des roues.
Flat-bar.	Barre plate.
Fly-wheel.	Volant.
Foot.	Pied.
Foot-board.	Galerie.
Forcing-Pump.	Pompe foulante.
Fore stroke.	Coup d'avant.
Fork.	Fourche.
Four-wheeled Engines.	Machines à quatre roues.
Forwards.	En avant.
Frame.	Châssis, cadre.
Friction.	Frottement.
Fuel.	Combustible.
Fulchrum.	Support, palier, crapaudine.
Funnel ppie.	Conduit en entonnoir.

G

Gas.	Gaz.
Gauge cock.	Robinets pour mesurer le niveau.
Glass.	Verre.
Glass-tube.	Tube de verre.
Go bacward (to).	Aller en arrière.
Go forward (to).	Aller en avant.
Goods.	Marchandises.
Graduated scale.	Echelle graduée.
Gravity.	Pesanteur.
Guard.	Conducteur de convoi.
Guides.	Guides, glissoires.
Groove.	Trou, cavité, entaille.

H

Handle.	Manette.
Haulage.	Traction.
Head of Rod.	Tête d'une tige.
Heat.	Chaleur.
Heated-air.	Air chaud.
Heating power.	Puissance calorifique.
Hemp.	Étoupe.
Hemp cloth.	Tissu de chanvre.
Hoop.	Cercle, virole.
Horse-hair.	Crin.
Horse power.	Puissance en chevaux.
Hour.	Heure.

I.

Inch.	Pouce.
Inclined plane.	Plan incliné.
Index of a balance.	Curseur d'une balance.
Inside.	Intérieur.
Inside Frames.	Châssis intérieurs, traverses.
Iron.	Fer.
Iron knees.	Équerres en fer.

J

Jerck, Shock.	Choc.
Jet.	Jet, jaillissement.
Joiner.	Charpentier.
Joint.	Articulation.

K.

Key.	Clef.

L

Lead.	Plomb.
Lead of the slide.	Avance du tiroir.
Lead-plug.	Bouchon en plomb.
Leather.	Cuir.
Length of stroke.	Longueur du coup, ou course.
Level.	Niveau.
Lever.	Levier.

Line.	Ligne.
Load.	Charge.
Locomotive Engine.	Machine locomotive.

M

Man's Hole.	Trou d'homme.
Matérials.	Matériaux.
Mechanism.	Mécanisme.
Mercurial Gauge.	Manomètre à mercure.
Mile.	Mille, 1609 mètres.
Mile stone.	Borne milliaire.
Minutes.	Minutes.
Miter.	Mitre, obturateur conique.
Momentum.	Poids
Morticed.	Assemblé à mortaise.
Motion, Movement.	Mouvement.
Mud-holes.	Orifice de nettoiement.

N

Nave.	Moyeu.
Notch.	Encoche.
Nut.	Écrou.

O

Oil	Huile.
Oil-cup.	Boîte à huile.
Opened.	Ouvert.
Opening.	Ouverture.
Out side Frame.	Châssis extérieur.
Over-balancing.	Balancement de l'avant à l'arrière.
Overlap.	Recouvrement du tiroir sur les lumières.

P

Packing.	Garniture de boite d'étoupe.
Pad.	Tampon.
Passenger.	Passager, voyageur.
Pet Cock.	Robinet d'essai des pompes (petit robinet).
Pilar.	Support.
Pipe.	Tuyau ou conduit.
Piston.	Piston.

Piston-Rod.	Tige du piston.
Pitching.	Plongement, action des machines de plonger sur les rails.
Planing Machine.	Machine à planer.
Plate-layer.	Poseur.
Plug.	Bouchon.
Plunger.	Plongeur.
Pounds (avoir du poids).	Livres anglaises.
Pression.	Pression.
Priming.	Jet de mélange d'eau et de vapeur.
Progressive motion.	Marche en avant.
Projection.	Saillie.
Pump.	Pompe.

Q

Quadrant.	Quart de circonférence, quadrant.
Quantity.	Quantité.

R

Radiating calorie.	Calorique rayonnant.
Radius.	Rayon.
Radius of curvation.	Rayon de courbe.
Reciprocating.	Alternatif.
Reciprocation.	Révolution, tour de roue.
Regulator.	Régulateur, robinet d'entrée de vapeur.
Repair.	Réparation.
Resistance.	Résistance.
Retrograde motion.	Marche en arrière.
Reverting gear.	Levier de renversement de la distribution.
Ribs.	Tirans.
Right angle.	Angle droit.
Rims of weels.	Jantes de roues.
Ring.	Cercle.
Riveting.	Rivé.
Rivets.	Rivets.
Road.	Route.
Rod.	Verge.
Row.	Rangée.
Rubbing part.	Partie frottante.

S

Safety valve.	Soupape de sûreté.

Screw.	Vis.
Screw bolt.	Boulon taraudé.
Screwed.	Vissé.
Sea-coal.	Houille, charbon de terre.
Seat of the valve.	Siége de la soupape.
Sediment.	Sédiment, incrustation, dépôts.
Segments.	Segmens, parties d'un cercle.
Sheet iron.	Tôle.
Shed,	Atelier. hangar.
Shut.	Fermé.
Sidings.	Voies de chargemens et de déchargemens dans les stations.
Six-wheeled Engines.	Machines à six roues.
Size.	Dimension superficie.
Sleeper.	Traverse.
Slide-box.	Boîte des tiroirs.
Slides.	Tiroirs, glissoires.
Slide Rod.	Tige des tiroirs.
Smith.	Forgeron.
Smoke-box.	Boîte à fumée.
Smoke-box Doors.	Portes de la boîte à fumée.
Socket.	Socle, crapaudine.
Soldered.	Soudé.
Space.	Espace.
Span.	Ouverture d'une arche.
Speed.	Vitesse.
Spindle.	Axe, goujon.
Spess-herr.	Garde-crotte.
Spokes.	Rais d'une roue.
Spring-balance.	Balance à ressort.
Springs.	Ressorts.
Square.	Quarré.
Square foot.	Pied carré,
Stationary Engines.	Machines fixes.
Steam.	Vapeur.
Steam-chests.	Boîtes à vapeur.
Steam pipe.	Tuyau à vapeur.
Steam Port.	Ouverture ou conduit de vapeur.
Steam régulator.	Régulateur de vapeur.
Steam-rooms.	Chambre de vapeur.
Steam-tight.	Étanche de vapeur, contenant la vapeur.
Steel.	Acier.
Stone.	Pierre.
Stone block.	Dé en pierre.
Stop (to).	Arrêter.
Straight line.	Ligne droite.
Strain.	Effort, choc avec frottement.
Suck (to).	Aspirer, raréfier.
Sucking-Pump.	Pompe aspirante.
Suction pipe.	Tuyau d'aspiration.
Supporting board.	Plancher.
Syphon.	Siphon.

T

Syphon-wick.	Mèebc à siphon.
Tallow.	Suif.
Thread of a screw.	Filet d'une vis.
Tires.	Frettes.
Tires of the wheels.	Bandages des roues.
Ton (2240 ponnds).	Tonne , 1000 kil.
Train.	Train, poids remorqué.
Travel.	Voyage.
Traveller.	Voyageur.
Trip.	Parcours d'une ligne de chemin de fer par un convoi.
Tube.	Tube.
Tubular spokes.	Raies creuses.
Tunnel.	Souterrain.
Two way cock.	Robinet à deux eaux.

V

Valves.	Soupapes, clapet, tiroirs.
Valve works.	Armature du tiroir.
Velocity.	Vitesse.

W

Wage.	Salaire.
Water.	Eau.
Water-gauge.	Mesure du niveau de l'eau.
Watering station.	Station pour l'alimentation de l'eau.
Water-tight.	Etanche, contenant l'eau.
Way.	Chemin, voie.
Wear.	Usure.
Wedge.	Coin.
Weigh-bars.	Grandes traverses, supports du poids.
Welded.	Soudé.
Wheels.	Roues.
Wheels coupled.	Roues accouplées.
Weighing.	Pesage.
Whistle.	Sifflet.
Wood.	Bois.
Work.	Travail, mouvement.
Wrought iron.	Fer forgé.
Wrought-iron plates, sheet iron.	Tôle, fer en feuilles.

TABLEAU DES RÉDUCTIONS DES MESURES ANGLAISES EN MESURES MÉTRIQUES FRANÇAISES.

MESURES DE LONGUEUR.

ANGLAISES.	FRANÇAISES.
Pouce (1/36 du yard)..........	2.539954 centimètres.
Pied (1/3 du yard)............	3.0479549 décimètres.
Yard impérial................	0.91438348 mètre.
Mile (1760 yards)............	1609.31 mètres.

MESURES DE SUPERFICIE.

Pouce carré..................	6.4443 centimètres carrés.
Pied carré...................	9.2903 décimètres carrés.
Yard carré...................	0.83697 mètre carré.

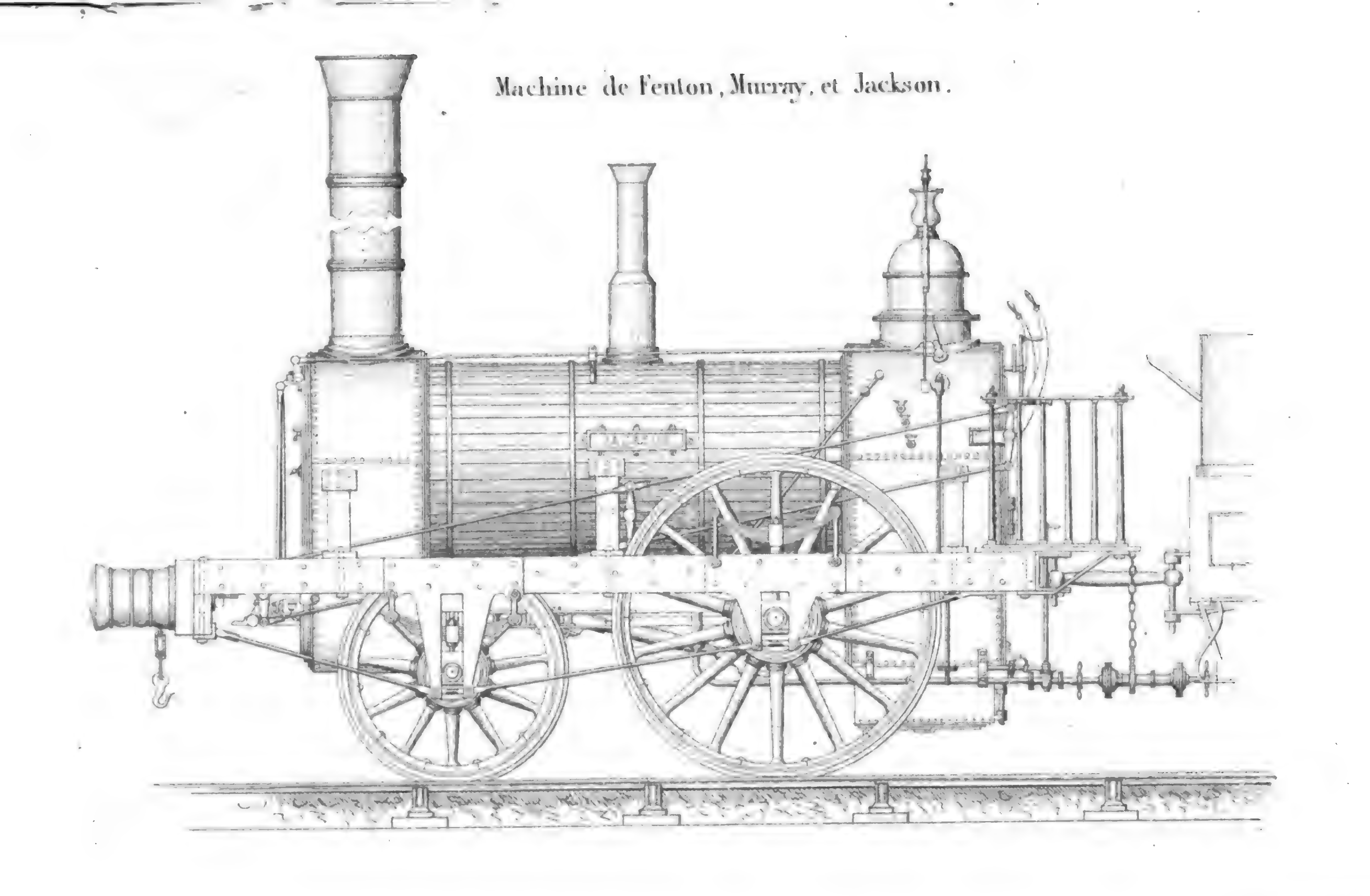
MESURES DE CAPACITÉ.

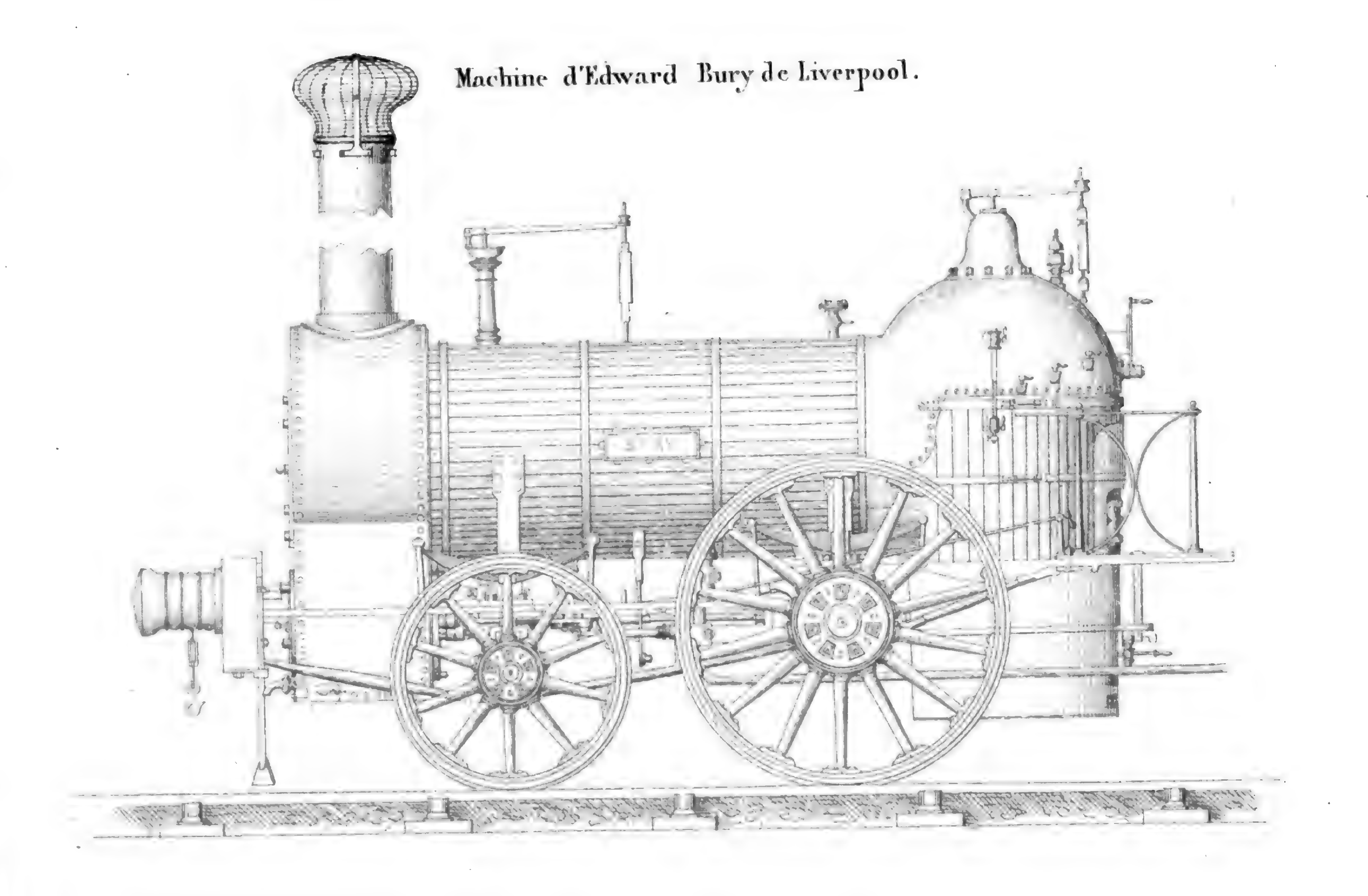
Pouces cubes.................	16.3052	cent. cubes.
Pinte........................	0.55	décimètres cubes.
Gallon	4.404	id.
Pieds cubes..................	28.314	id.
Boisseau.....................	35.238	id.
Yard cube....................	764.58	id.

POIDS.

1 once......................	28.338	grammes.
1 livre.....................	453	id.
1 quintal, 112 livres..........	50.796	kilogrammes.
1 tonne, 20 quintaux ou 2240 livr.	1015.938	id.

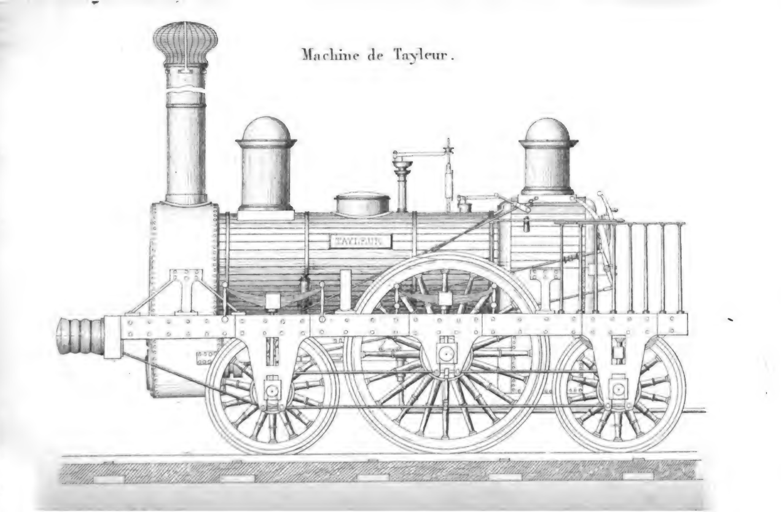
Machine de Fenton, Murray, et Jackson.





Machine d'Edward Bury de Liverpool.

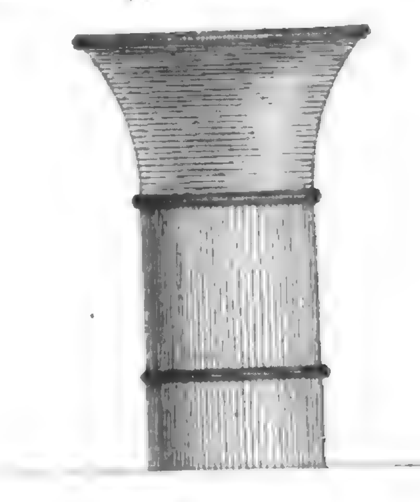
Machine de Tayleur.



Machine de Stephenson à quatre excentriques Fixes

décrite dans l'ouvrage Anglais (*Stephenson's Patent locomotive Engine*)

Elévation



Vue générale du Tender de la Machine de Stephenson.

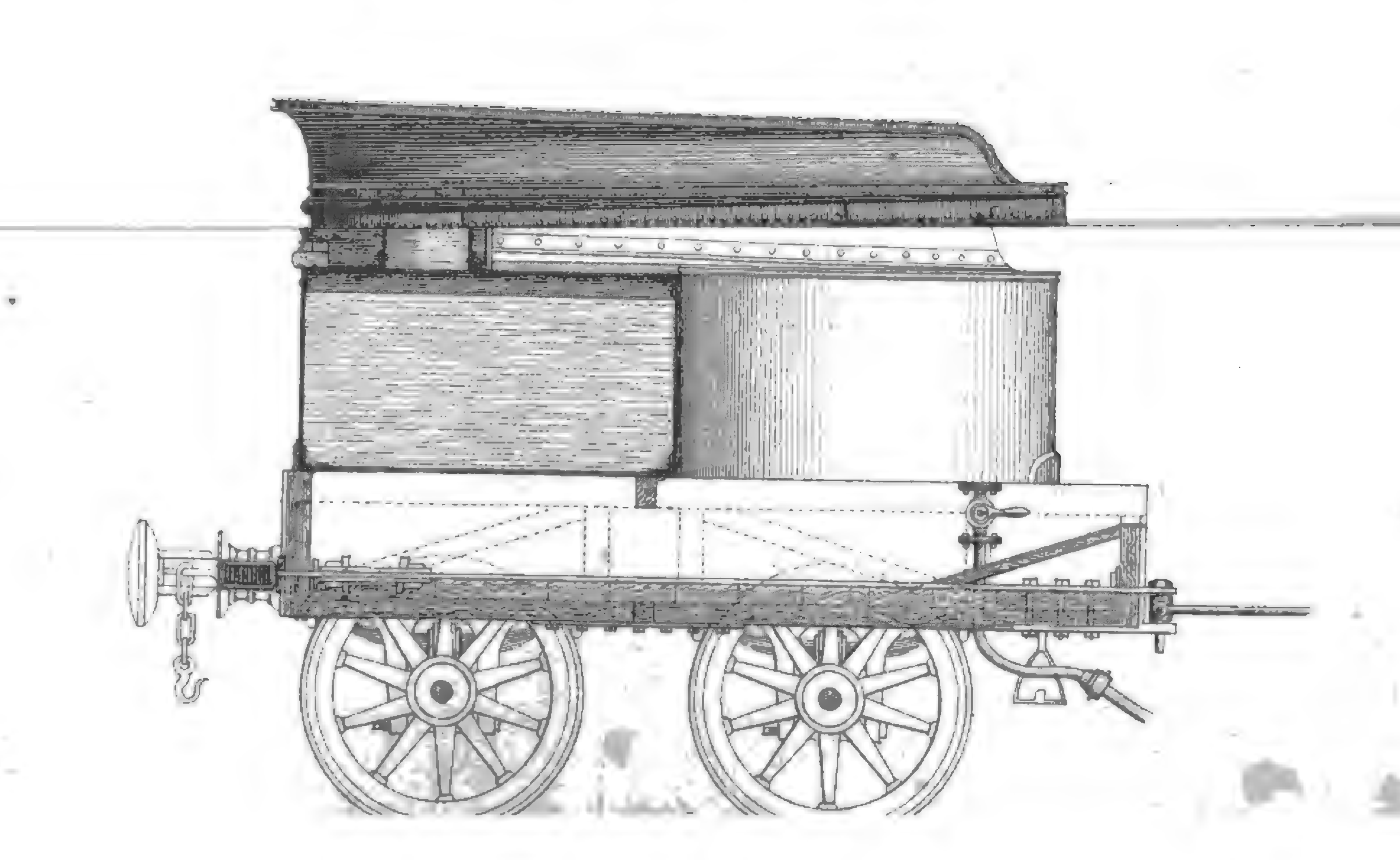
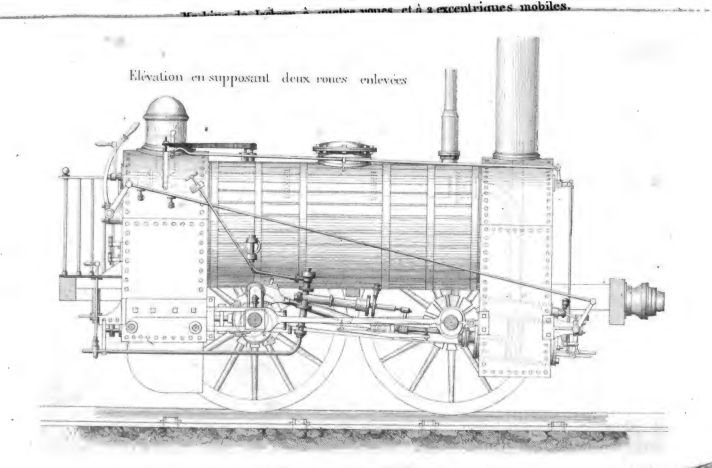
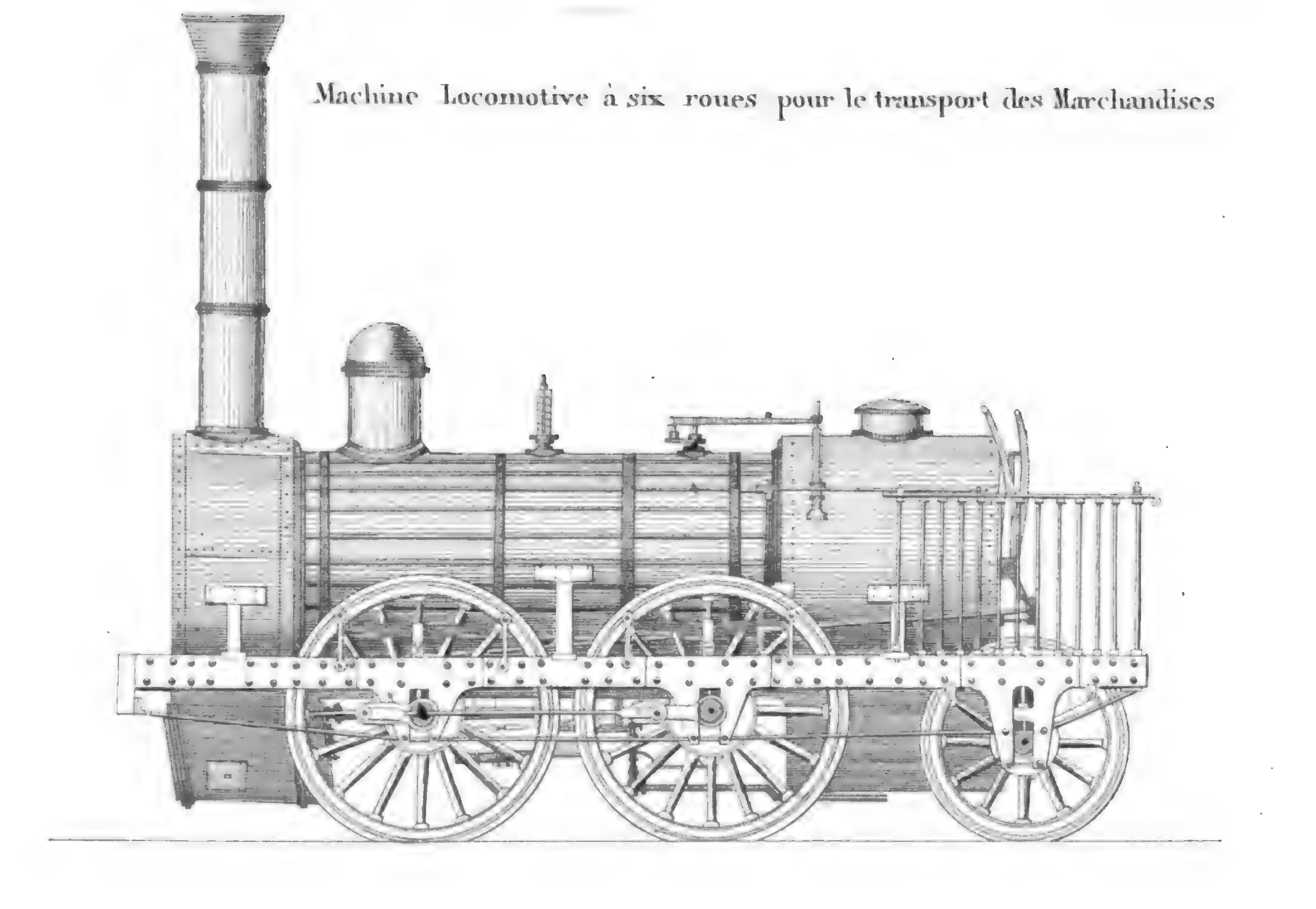


Fig. a.

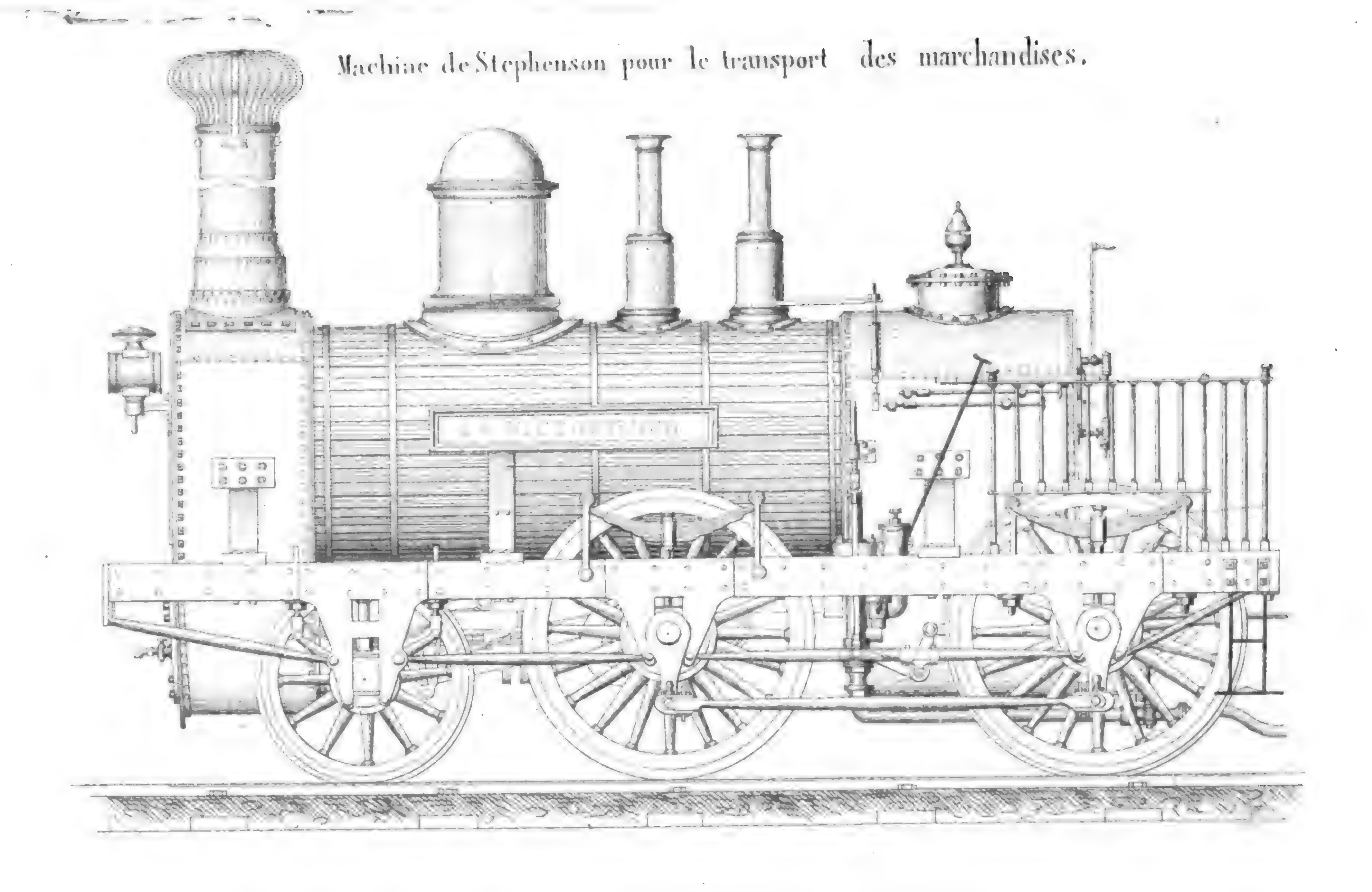
Machine de ... à quatre roues et à 2 excentriques mobiles.



Machine Locomotive à six roues pour le transport des Marchandises



Machine de Stephenson pour le transport des marchandises.



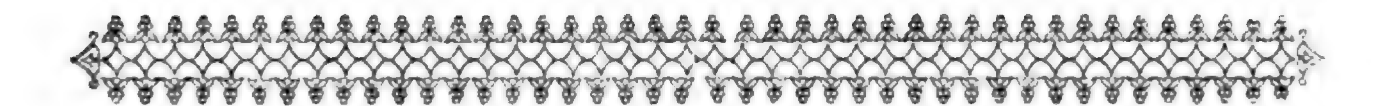


TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

NOTIONS GÉNÉRALES

DEUXIÈME PARTIE.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES PIÈCES QUI COMPOSENT UNE MACHINE LOCOMOTIVE.

TROISIÈME PARTIE.

NOTIONS PRATIQUES DE CONDUITE DES MACHINES LOCOMOTIVES.

QUATRIÈME PARTIE.

DES ACCIDENS.

NOTES ET TABLEAUX.

NOTE PREMIÈRE.

De la génération de la vapeur et de son emploi.

NOTE DEUXIÈME.

NOTE TROISIÈME.

NOTE QUATRIÈME.

NOTE CINQUIÈME.

NOTE SIXIÈME.

SECTION I.

SECTION II.

SECTION III.

SECTION IV.

NOTE SEPTIÈME.

Extraits anglais.

NOTE HUITIÈME.

FIN DE LA TABLE.

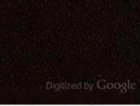
ERRATA.

Page 18,	ligne 2.—	Après les mots : *placé près de la prise de vapeur*, ajoutez : et quand les doubles parois qui enveloppent la boîte à feu ne laissent qu'une faible épaisseur à l'eau qu'ils contiennent.
60	24	Au lieu de : *on se contentera*, lisez : on se contentait.
62	6	Après les mots (*fig. A et B.*), ajoutez : à la fin du volume.
65	21	Après les mots : *du levier B*, ajoutez : du poids de la soupape et du poids de la balance.
66	30	Après les mots : *à sa sortie*, ajoutez : de l'hémisphère inférieure.
75	10	Au lieu de : *par e et par e*, lisez par e et par e'.
96	4	Après les mots, *à sa plus grande vitesse*, lisez [1].
98	30	Au lieu de : *c'est-à-dire qu'ils...* lisez : c'est-à-dire quand ils...
104	9	Au lieu de : *sont donnés fig.* 58, *et la coupe fig.* 63 *bis*, lisez : sont donnés fig. 63 et 63 bis, et la vue de côté fig. 64 et 66.
110	1	Après les mots : *du levier p*, lisez : fig. 69 et 69 bis.
114	7	Au lieu de : = boc, lisez : $= \frac{\text{boc}}{2}$.
115	23 à 26	Cette disposition a été changée ; le pied de biche a été placé sur la barre d'excentrique, et ses branches ont été très allongées par suite de la grandeur de l'arc parcouru par le levier intermédiaire dont la longueur est grande et répond d'ailleurs à une course de tiroirs plus considérable que dans les autres machines.
121	19	Au lieu de : *ont un renflement. En B* (*fig.* 85), *un tirant*, lisez : ont un renflement en B (fig. 85). Un tirant...
Figure 90		Au près du mot : *Frète*, ajoutez la lettre I.
125	4	Au lieu de : *chacun des raies*, lisez : chacune des raies.
127	27	Au lieu de : 40 *tonnes d'une vitesse moyenne...* lisez : 40 tonnes et une vitesse moyenne...
128	1	Au lieu de 54, lisez : 55.
128	27	Au lieu de : ii', bb, lisez : ii.
129	11	Après les mots : *manchon m*, ajoutez : *m'*.

129	16	Au lieu de : *des frottemens*, lisez : en frottemens.
132	8	Au lieu de : *un plus grand axe*, lisez : un plus grand arc.
132	29	Au lieu de : *les deux barres AA'*, lisez : les deux barres bb'.
176	19	Au lieu de : *cette limite doit être de 40 kilomètres... inférieure à celle énoncée*, lisez : cette limite doit être de 48 kilomètres par heure ou 1 kilomètre en 75 secondes. A la descente, il doit avoir égard au poids du train qu'il remorque ; s'il est trop lourd, il adoptera une limite de vitesse inférieure à celle énoncée.
176	30	Après les mots : *sur les pointes des croisemens...* lisez : Cette observation ne s'applique qu'aux cas très rares où des croisemens sont placés sur la ligne dans le sens de la marche des trains.
180	10	Au lieu de : *une fois plein, on le mettra en communication avec la grande chaudière*, lisez : ce réservoir une fois plein serait mis en communication avec la chaudière de la machine locomotive.
204	5 à 8	Au lieu de : *On comprend que, les densités*, etc.... jusqu'à *comparé les volumes*, lisez : On comprend que les densités étant en raison inverse des volumes, on pourra comparer les densités entre elles comme on a comparé les volumes ; et l'on aura, etc.
206	dernière	Au lieu de : $P=P'=25740$ lisez : $P=P'=25840$ k.
		Au lieu de : $p=1$ k. 85, lisez : $p=1$ k. 855.
		Au lieu de : $V=\sqrt{19.62\,\frac{25740}{1.85}}$, lisez : $V=\sqrt{19.62\,\frac{25840}{1.855}}$


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 02015 0499




Digitized by Google